Leitfaden Sichere Maschinen

IN SECHS SCHRITTEN ZUR SICHEREN MASCHINE

SICK
Sensor Intelligence.

In sechs Schritten zur sicheren Maschine

§ Gesetze, Richtlinien, Normen, Haftung → §-1
- Europäische Richtlinien → §-1
- Pflichten des Maschinenherstellers → §-3
- Normen → §-7
- Prüfstellen, Versicherungen und Behörden → §-12
- Grundlagen der Produkthaftung → §-13

1 Risikobeurteilung → 1-1
- Der Prozess der Risikobeurteilung → 1-1
- Funktionen der Maschine → 1-2
- Identifizieren von Gefährdungen → 1-3
- Risikoeinschätzung und Risikobewertung → 1-4
- Dokumentation → 1-4
- Risikobeurteilung mit Safexpert® → 1-5

Risikominderung – die 3-Stufen-Methode → 2-1

2 Sicheres Gestalten → 2-1
- Mechanische Konstruktion → 2-2
- Bedien- und Instandhaltungskonzept → 2-3
- Elektrische Ausrüstung → 2-4
- Stillsetzen → 2-9
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) → 2-9
- Fluidtechnik → 2-11
- Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen → 2-12

3 Technische Schutzmaßnahmen → 3-1
- a Festlegen der Sicherheitsfunktionen → 3-2
- b Bestimmen des erforderlichen Sicherheitsniveaus → 3-9

Umsetzen der Sicherheitsfunktionen

- c Entwerfen der Sicherheitsfunktion
  - Erstellen des Sicherheitskonzepts → 3-13
  - Auswählen der Schutzeinrichtungen → 3-19
  - Positionieren bzw. Dimensionieren der Schutzeinrichtungen → 3-47
  - Integrieren der Schutzeinrichtungen in die Steuerung → 3-66
  - Produktübersicht Sicherheitstechnik → 3-81
- d Verifizieren der Sicherheitsfunktion → 3-83
- e Validieren aller Sicherheitsfunktionen → 3-101

4 Benutzerinformation über Restrisiken → 4-1
- Dokumentation mit Safexpert® → 4-3

5 Gesamtvalidierung der Maschine → 5-1

6 Inverkehrbringen der Maschine → 6-1
- Technische Unterlagen → 6-1

Verantwortung des Betreibers → 0-1

Anhang
- Wie SICK Sie unterstützt → i-1
- Übersicht relevanter Normen → i-6
- Nützliche Links → i-8
- Glossar/Index → i-10
- Co-Autoren – Danksagung → i-15
- Raum für eigene Notizen → i-16

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Sichere Maschinen schaffen Rechtssicherheit für den Hersteller und Betreiber. Maschinenbenutzer erwarten, dass nur sichere Maschinen oder Geräte angeboten werden. Diese Erwartung besteht weltweit. Ebenso gibt es weltweit Regelungen zum Schutz von Personen vor Maschinen. Diese Regelungen sind regional unterschiedlich ausgeprägt. Es besteht jedoch eine breite Übereinkunft über das auf der gegenüberliegenden Seite gezeigte Verfahren beim Bau und bei der Nachrüstung von Maschinen:
Beim Bau von Maschinen muss der Maschinenhersteller durch eine Risikobeurteilung (früher auch Gefahrenanalyse genannt) alle möglichen Gefährdungen und Gefahrstellen erkennen und bewerten.
Entsprechend dieser Risikobeurteilung soll der Maschinenhersteller das Risiko durch geeignete konstruktive Maßnahmen beseitigen oder mindern. Wenn hierdurch das Risiko nicht beseitigt werden kann oder das verbleibende Risiko nicht tolerierbar ist, muss der Maschinenhersteller geeignete Schutzeinrichtungen auswählen und anwenden und gegebenenfalls über Restrisiken informieren.
Um sicherzustellen, dass die vorgesehenen Maßnahmen richtig wirken, ist eine Gesamtvalidierung erforderlich. Diese Gesamtvalidierung muss sowohl die konstruktiven und technischen als auch die organisatorischen Maßnahmen im Zusammenhang bewerten.

Wir führen Sie in sechs Schritten zur sicheren Maschine. Auf der linken Seite finden Sie die Vorgehensweise.

Über diesen Leitfaden

Was beinhaltet der Leitfaden?
Vor Ihnen liegt ein umfangreicher Leitfaden zu den gesetzlichen Grundlagen für Maschinen und über die Auswahl und Anwendung von Schutzeinrichtungen. Unter Berücksichtigung der geltenden europäischen Richtlinien, Vorschriften und Normen stellen wir Ihnen verschiedene Möglichkeiten vor, wie Sie Maschinen absichern und Personen vor Unfällen schützen. Die angeführten Beispiele und Aussagen sind das Ergebnis unserer langjährigen praktischen Erfahrung und sind als typische Anwendungen anzusehen.
Dieser Leitfaden beschreibt die gesetzlichen Vorgaben für Maschinen in der Europäischen Gemeinschaft und deren Umsetzung. Die gesetzlichen Vorgaben für Maschinen in anderen Regionen (z. B. Nordamerika, Asien) sind in eigenen Versionen dieses Leitfadens beschrieben.
Aus den folgenden Ausführungen lassen sich keinerlei Ansprüche, gleich aus welchem Rechtsgrund, ableiten, da vor dem Hintergrund nationaler und internationaler Vorschriften und Normen jede Maschine eine spezifische Lösung erfordert.
Wir verweisen grundsätzlich auf die zum Zeitpunkt der Edition aktuellen und veröffentlichten Normen und Richtlinien. Falls bei neuen Normen für eine Übergangszeit auch die Anwendung der Vorgängernorm möglich ist, so haben wir dies in den entsprechenden Kapiteln dieses Leitfadens vermerkt.

Für wen ist der Leitfaden?
Dieser Leitfaden richtet sich an Hersteller, Betreiber, Konstrukteure, Anlagenbauer sowie an alle, die für die Maschinensicherheit verantwortlich sind. (Aus Gründen der Lesbarkeit verwenden wir im Folgenden zumeist die männlichen Bezeichnungen.)

Ihr Redaktionsteam

Von links nach rechts: Max Dietrich, Rolf Schumacher, Doris Lilienthal, Harald Schmidt, Hans-Jörg Stubenrauch, Otto Görnemann, Matthias Kurrus (ohne Abb.)

→ Verweise auf weiterführende Normen und Hilfen haben wir im Folgenden durch einen Pfeil kenntlich gemacht.

Sicherheit im Arbeitsprozess

Die Anforderungen an die Absicherung von Maschinen haben sich mit fortschreitender Automatisierungstechnik mehr und mehr verändert. Früher wirkten Absicherungen im Arbeitsprozess eher störend, daher wurde oft ganz auf sie verzichtet. Durch innovative Techniken ließen sich Schutzeinrichtungen in den Arbeitsprozess integrieren. Dadurch sind sie für den Bediener nicht mehr hinderlich, oft unterstützen sie sogar die Produktivität.

Aus diesem Grund sind zuverlässige und in den Arbeitsprozess integrierte Schutzeinrichtungen heute unverzichtbar.

Sicherheit ist ein Grundbedürfnis

Sicherheit ist ein Grundbedürfnis des Menschen. Studien belegen, dass Personen, die permanenten Stresssituationen ausgesetzt sind, häufiger anfällig für psychosomatische Erkrankungen sind. Obwohl der Mensch sich langfristig mit Extremsituationen arrangieren kann, führen sie zu einer hohen individuellen Belastung.
Daraus leitet sich folgendes Ziel ab: **Bediener und Wartungspersonal müssen sich auf die Sicherheit einer Maschine verlassen können!**

Häufig besteht jedoch die Auffassung, dass mehr „Sicherheit“ zu geringerer Produktivität führt – das Gegenteil ist der Fall. Höhere Sicherheit führt zu höherer Motivation und Zufriedenheit und damit letztlich zu höherer Produktivität.

Sicherheit ist eine Führungsaufgabe

Entscheider in der Industrie tragen die Verantwortung für ihre Mitarbeiter sowie für eine wirtschaftliche und störungsfreie Produktion. Nur wenn das Management im Alltagsgeschäft den Sicherheitsgedanken vorlebt, dann werden sich auch die Mitarbeiter dem Thema nicht verschließen.

Zur Verbesserung der Nachhaltigkeit fordern Experten daher den Ausbau einer weit gefassten „Sicherheitskultur“ in den Unternehmen. Nicht ohne Grund, schließlich resultieren neun von zehn Unfällen aus menschlichem Fehlverhalten.

Einbindung der Mitarbeiter führt zu Akzeptanz

Von größter Wichtigkeit ist es, die Bedürfnisse von Bedien- und Wartungspersonal mit in die konzeptionelle Planung einzubinden. Nur ein intelligentes, auf den Arbeitsprozess und das Personal abgestimmtes Sicherheitskonzept führt zur notwendigen Akzeptanz.

Expertenwissen ist erforderlich

Die Sicherheit von Maschinen hängt in großem Umfang von der korrekten Anwendung von Richtlinien und Normen ab. In Europa sind die nationalen Rechtsvorschriften durch europäische Richtlinien, wie z. B. die Maschinenrichtlinie, aneinander angeglichen.

Solche Richtlinien beschreiben generelle Anforderungen, die durch Normen konkretisiert werden. Häufig werden europäische Normen auch außerhalb von Europa akzeptiert.
All diese Anforderungen praxisgerecht auszulegen, erfordert ein umfangreiches Expertenwissen, Anwendungswissen und eine langjährige Erfahrung.

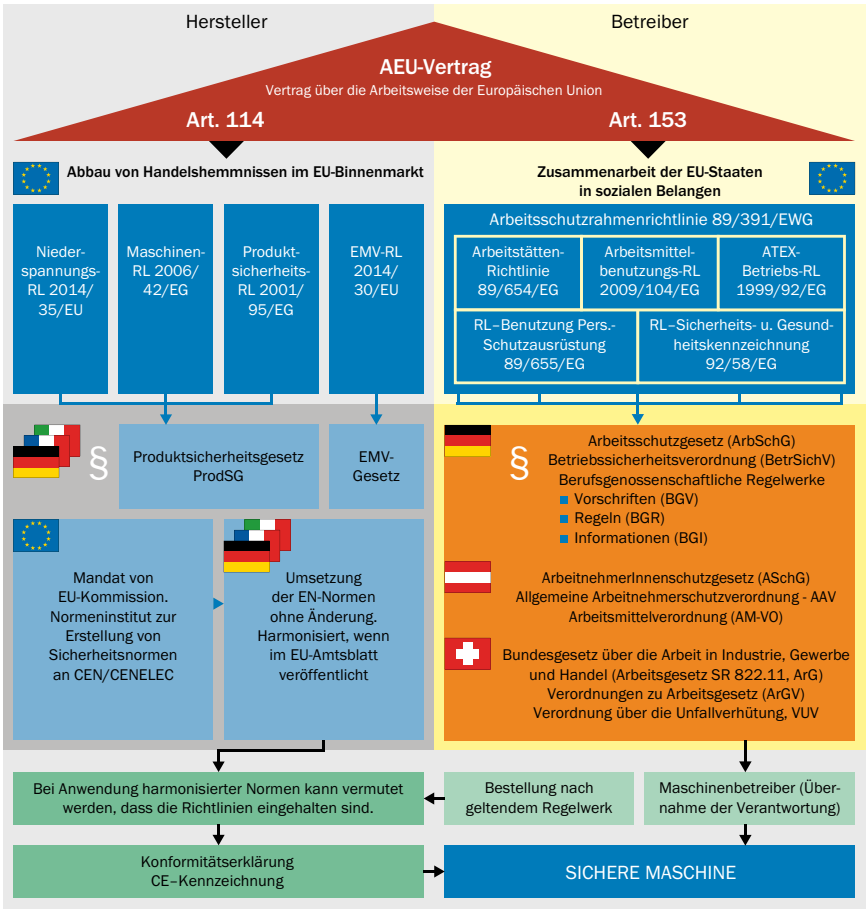
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Europäische Richtlinien

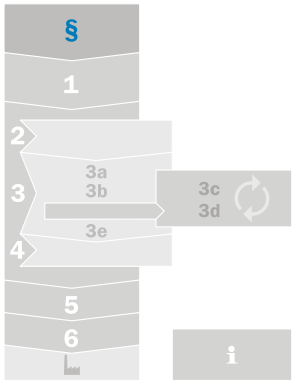
Einer der Grundgedanken der Europäischen Gemeinschaft ist der Schutz der Gesundheit ihrer Bürger sowohl im privaten wie im beruflichen Umfeld. Ein anderer Grundgedanke ist die Schaffung eines einheitlichen Markts mit freiem Warenverkehr.
Dem Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union entsprechend hat die EU-Kommission bzw. der Rat der Europäischen Union verschiedene Richtlinien erlassen, damit die Ziele des freien Warenverkehrs und des Schutzes der Bürger gleichzeitig verwirklicht werden können.

Diese müssen von den Mitgliedsstaaten in nationale Gesetze umgesetzt werden. Die Richtlinien definieren grundsätzliche Ziele und Anforderungen und sind so weit wie möglich technologieneutral gehalten. Im Bereich der Maschinensicherheit und des Arbeitsschutzes wurden folgende Richtlinien erlassen:

- die Maschinenrichtlinie, die sich an den Hersteller von Maschinen richtet
- die Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie, die sich an den Betreiber von Maschinen richtet
- zusätzliche Richtlinien, wie z. B. Niederspannungsrichtlinie, EMV-Richtlinie, ATEX-Richtlinie



➜ Die Richtlinien sind frei erhältlich, z. B. unter eur-lex.europa.eu



In diesem Kapitel ...

Die Maschinenrichtlinie . . . . . §-2
Die Arbeitsmittel-benutzungsrichtlinie. . . . . §-3
Pflichten des Maschinenherstellers . . . . . §-3
Weltweite Normung . . . . . §-7
Europäische Normung . . . . . §-9
Nationale Normung . . . . . §-9
Prüfstellen. . . . . §-12
Versicherungen. . . . . §-12
Marktaufsicht – Behörden . . . . . §-12
Grundlagen der Produkthaftung . . §-13
Zusammenfassung. . . . . §-14

§

Europäische Richtlinien und Normen sind für Hersteller bzw. Inverkehrbringer gültig, die Maschinen in den europäischen Wirtschaftsraum liefern.

Die Maschinenrichtlinie

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG richtet sich an Hersteller und Inverkehrbringer von Maschinen und Sicherheitsbauteilen. Sie legt die Aufgaben zur Erfüllung der Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen für neue Maschinen fest, um Handelsbarrieren innerhalb Europas abzubauen und um den Anwendern und Bedienern ein hohes Maß an Sicherheit und Gesundheitsschutz zu garantieren.
Sie gilt für die Herstellung von Maschinen sowie für einzeln in Verkehr gebrachte Sicherheitsbauteile, aber auch für gebrauchte Maschinen und Geräte aus Drittländern, die erstmals im europäischen Wirtschaftsraum in den Verkehr gebracht werden (z. B. aus den USA oder Japan).

- 1989 erließ der Rat der Europäischen Gemeinschaft die Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen, die als Maschinenrichtlinie bekannt wurde (89/392/EWG).
- 1995 musste diese Richtlinie in allen Mitgliedsstaaten der EG angewendet werden.
- 1998 wurden verschiedene Änderungen in der Maschinenrichtlinie 98/37/EG zusammengefasst und konsolidiert.
- 2006 wurde eine „Neue Maschinenrichtlinie“ (2006/42/EG) erlassen, die die Vorgängerversion ersetzt und deren Anwendung seit dem 29.12.2009 in allen Mitgliedsstaaten der EG verbindlich ist.

Seit dem 29.12.2009 ist nur noch die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG anzuwenden!

Die Maschinenrichtlinie wurde in den deutschsprachigen Ländern wie folgt umgesetzt:

- Deutschland: Neunte Verordnung (Maschinenverordnung /9. ProdV) zum Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) vom 8.11.2011
- Schweiz: Bundesgesetz über die Produktesicherheit (PrSG) vom 12. Juni 2009 und Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung) vom 2. April 2008
- Österreich: Bundesgesetz zum Schutz vor gefährlichen Produkten (Produktsicherheitsgesetz 2004 [PSG 2004]) und Maschinen-Sicherheitsverordnung 2010

Die Mitgliedsstaaten dürfen das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme von Maschinen und Sicherheitsbauteilen, die der Maschinenrichtlinie entsprechen, nicht untersagen, beschränken oder behindern. Daher dürfen sie auch keine höheren Anforderungen an die Beschaffenheit durch nationale Gesetze, Verordnungen oder Normen stellen!

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Die Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie

Die Pflichten des Arbeitgebers sind in der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie geregelt. Diese gilt für die Anwendung von Maschinen und Geräten am Arbeitsplatz. Die Richtlinie soll dafür sorgen, dass beim Einsatz von Arbeitsmitteln Mindestvorschriften eingehalten werden, um den Sicherheits- und Gesundheitsschutz zu verbessern. Jeder Mitgliedsstaat darf seine eigenen nationalen Anforderungen hinzufügen: zum Beispiel an die Prüfung von Arbeitsmitteln, Service oder Wartungsintervallen, an die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung, Gestaltung des Arbeitsplatzes usw. Die Anforderungen der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie sowie nationale Anforderungen und Betriebsvorschriften sind wiederum in nationalen Gesetzen zusammengestellt.

- Deutschland: Arbeitsschutzgesetz (ArbSchGes), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)
- Schweiz: Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (SR 822.11, ArG)
- Österreich: ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG)

➜ Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie 2009/104/EG: eur-lex.europa.eu

Welche Pflichten hat der Hersteller von Maschinen?

Maschinen sicher gestalten

Die Hersteller sind verpflichtet, ihre Maschinen so zu bauen, dass die grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie hinsichtlich Sicherheit und Gesundheitsschutz eingehalten werden. Die Hersteller müssen die Integration der Sicherheit bereits während des Konstruktionsprozesses berücksichtigen. In der Praxis bedeutet dies, dass der Konstrukteur schon in der Entwicklungsphase der Maschine eine Risikobeurteilung durchführen muss. Die daraus entwickelten Maßnahmen können direkt in die Konstruktion einfließen. Die Schritte 1 bis 5 dieses Leitfadens beschreiben im Detail, wie hierfür vorzugehen ist.

Technische Dokumentation erstellen

Der Maschinenhersteller muss eine technische Dokumentation gemäß Anhang VII der Maschinenrichtlinie erstellen. Diese technische Dokumentation …

- sollte alle Pläne, Berechnungen, Prüfprotokolle und Dokumente beinhalten, die für die Einhaltung der grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie hinsichtlich Sicherheits- und Gesundheitsschutz relevant sind.
- muss mindestens zehn Jahre nach dem letzten Tag der Herstellung der Maschine (oder des Maschinentyps) aufbewahrt werden.
- muss auf berechtigtes Verlangen den Behörden vorgelegt werden.

Betriebsanleitung erstellen

Der Maschinenhersteller muss eine Betriebsanleitung erstellen, die sogenannte „Originalbetriebsanleitung“. Mit jeder Maschine muss eine Betriebsanleitung in der Amtssprache des Verwendungslandes mitgeliefert werden. Diese mitgelieferte Betriebsanleitung muss entweder die Originalbetriebsanleitung sein oder eine Übersetzung der Originalbetriebsanleitung. Im letzteren Fall ist zusätzlich die Originalbetriebsanleitung zu liefern. Originalbetriebsanleitungen sind – unabhängig von der Sprache – alle Betriebsanleitungen, die der Maschinenhersteller publiziert.

Hinweis: Aus der Maschinenrichtlinie kann keine Verpflichtung des Herstellers hergeleitet werden, die vollständige technische Dokumentation an den Käufer (Anwender) der Maschine zu liefern.

§

Ausstellen der Konformitätserklärung

Wenn der Maschinenhersteller seine Maschine gebaut hat, muss er durch die Ausstellung einer Konformitätserklärung und die Kennzeichnung der Maschine (CE-Kennzeichen) die Einhaltung dieser Vorgaben rechtsverbindlich bestätigen. Dann darf die Maschine im europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebracht werden.

Die Maschinenrichtlinie erläutert den vollständigen Ablauf zur Konformitätsbewertung. Es wird zwischen zwei Verfahren von Maschinen unterschieden (➜ „Das EG-Konformitätsbewertungsverfahren für Maschinen und Sicherheitsbauteile“ ➜ §-6)

- Standardverfahren: Maschinen, die nicht explizit in Anhang IV der Maschinenrichtlinie gelistet sind, unterliegen dem Standardverfahren. Die im Abschnitt „Grundsätzliche Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ in Anhang I beschriebenen Anforderungen müssen erfüllt werden. Danach bringt der Hersteller in Eigenverantwortung das CE-Zeichen an, ohne Einschalten einer Prüfstelle oder Behörde („Eigenzertifizierung“). Er muss aber vorher die technische Dokumentation der Maschine zusammenstellen, um diese den nationalen Behörden auf Verlangen vorlegen zu können.
- Verfahren für Maschinen, die in Anhang IV gelistet sind: Maschinen, von denen eine hohe Gefährdung ausgeht, unterliegen besonderen Abläufen. Der Anhang IV der Maschinenrichtlinie enthält eine Liste der entsprechenden Maschinen und Sicherheitsbauteile, zu denen auch berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen wie Sicherheits-Lichtschranken und Sicherheits-Laserscanner gehören. Die im Abschnitt „Grundsätzliche Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ in Anhang I der Maschinenrichtlinie beschriebenen Anforderungen müssen zunächst erfüllt werden. Existieren für die Maschinen oder Sicherheitsbauteile harmonisierte Normen, die den gesamten Bereich der Anforderungen abdecken, kann die Konformitätsbescheinigung anschließend auf drei Arten erreicht werden:
- Eigenzertifizierung
- EG-Baumusterprüfung durch eine notifizierte Prüfstelle
- Anwendung eines geprüften und umfassenden Qualitätsmanagementsystems

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Wenn für die Maschinen keine harmonisierten Normen existieren bzw. wenn die Maschine oder Teile der Maschine nicht nach harmonisierten Normen gebaut wurden, kann die Konformitätsbescheinigung nur wie folgt erreicht werden:

- EG-Baumusterprüfung durch eine notifizierte Prüfstelle: Bei einer Prüfung durch eine notifizierte Prüfstelle muss der Hersteller seine Maschine und die dazugehörigen technischen Unterlagen zur Verfügung stellen, damit durch eine „EG-Baumusterprüfung“ festgestellt werden kann, ob die Maschine die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllt. Die notifizierte Prüfstelle prüft die Übereinstimmung mit der Richtlinie und erstellt eine EG-Baumusterprüfbescheinigung, die die Ergebnisse der Prüfungen darlegt.
- Anwendung eines geprüften und umfassenden Qualitätsmanagementsystems (QMS): Das umfassende QMS muss die Übereinstimmung mit den Anforderungen der Maschinenrichtlinie gewährleisten und von einer notifizierten Prüfstelle geprüft sein. Für die wirksame und sachgemäße Anwendung des QMS ist grundsätzlich der Hersteller verantwortlich. Siehe auch Anhang X der Maschinenrichtlinie.

Kennzeichnung der Maschine als CE-konform

Nachdem alle Voraussetzungen erfüllt wurden, muss die Maschine mit dem CE-Zeichen versehen werden.

Achtung! Das CE-Zeichen darf nur angebracht werden, wenn die Maschine alle auf sie anwendbaren europäischen Richtlinien erfüllt. (Nur dann darf ein Produkt im europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebracht werden.)

Sonderfall: unvollständige Maschine

In vielen Fällen werden Teilmaschinen, Maschinenbaugruppen oder Maschinenkomponenten hergestellt und geliefert, die der Definition einer Maschine sehr nahekommen, aber dennoch nicht als vollständige Maschine im Sinne der Maschinenrichtlinie betrachtet werden können. Die Maschinenrichtlinie definiert als „unvollständige Maschine“ eine Gesamtheit von Bauteilen, die fast eine Maschine bildet, jedoch für sich genommen keine bestimmte Funktion erfüllen kann. Ein einzelner Industrieroboter stellt z. B. eine unvollständige Maschine dar. Eine unvollständige Maschine ist nur dazu bestimmt, in andere Maschinen oder in andere unvollständige Maschinen oder Ausrüstungen eingebaut oder mit ihnen zusammengefügt zu werden, um zusammen mit ihnen eine Maschine im Sinne der Richtlinie zu bilden.

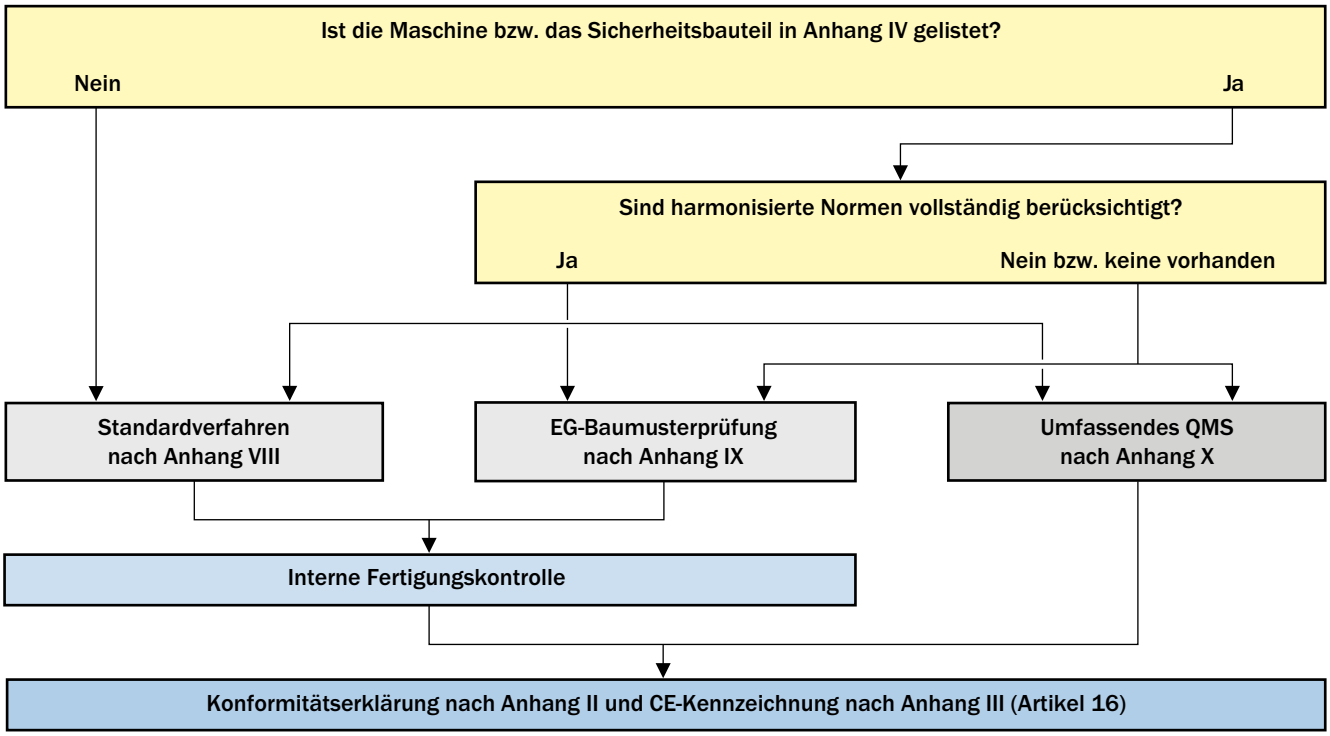
Unvollständige Maschinen können nicht alle Anforderungen der Maschinenrichtlinie erfüllen. Die Maschinenrichtlinie regelt daher auch deren freien Verkehr durch ein besonderes Verfahren:

- Der Hersteller muss alle vernünftigerweise erfüllbaren grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie hinsichtlich Sicherheit und Gesundheitsschutz einhalten.
- Der Hersteller muss eine Einbauerklärung ausstellen. Diese beschreibt, welche grundlegenden Anforderungen der Richtlinie zur Anwendung kommen und eingehalten werden. Eine technische Dokumentation, ähnlich die einer Maschine, ist entsprechend zu erstellen und aufzubewahren.
- Anstelle einer Betriebsanleitung muss der Hersteller in gleicher Weise eine Montageanleitung erstellen und mit jeder „unvollständigen“ Maschine mitliefern. Die Sprache dieser Montageanleitung kann zwischen Hersteller und Anwender (Integrator) vereinbart werden.

→ Siehe auch Abschnitt „Prüfstellen, Versicherungen und Behörden“ → §-12

§

Das EG-Konformitätsbewertungsverfahren für Maschinen und Sicherheitsbauteile


Ist die Maschine bzw. das Sicherheitsbauteil in Anhang IV gelistet?
Nein
Ja
Sind harmonisierte Normen vollständig berücksichtigt?
Ja
Nein bzw. keine vorhanden
Standardverfahren nach Anhang VIII
EG-Baumusterprüfung nach Anhang IX
Umfassendes QMS nach Anhang X
Interne Fertigungskontrolle
Konformitätserklärung nach Anhang II und CE-Kennzeichnung nach Anhang III (Artikel 16)

Zusammenfassung: Gesetze, Richtlinien

Als Hersteller einer Maschine gilt für Sie unter anderem die Maschinenrichtlinie:

- Erfüllen Sie die grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie hinsichtlich Sicherheit und Gesundheitsschutz.
- Planen Sie die Integration der Sicherheit bereits während des Konstruktionsprozesses.
- Verwenden Sie zur Konformitätserklärung entweder das Standardverfahren oder das Verfahren für Maschinen des Anhangs IV der Maschinenrichtlinie.
- Stellen Sie eine technische Dokumentation der Maschine zusammen, insbesondere alle sicherheitsrelevanten Kon-struktionsdokumente.
- Liefern Sie eine Betriebsanleitung in der Amtssprache des Verwendungslandes mit. Die Originalversion ist ebenfalls mitzuliefern.
- Füllen Sie eine Konformitätserklärung aus und kennzeichnen Sie die Maschine oder das Sicherheitsbauteil mit dem CE-Kennzeichen.

Als Betreiber einer Maschine gilt für Sie die Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie:

- Halten Sie die Anforderungen der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie ein.
- Informieren Sie sich, ob weitere nationale Anforderungen (z. B. Prüfung von Arbeitsmitteln, Service- oder Wartungsintervalle usw.) bestehen und erfüllen Sie diese.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Normen

Grundsätzlich werden in diesem Leitfaden internationale Normen (ISO-IEC) referenziert. Eine Übersicht relevanter Normen finden Sie im Anhang. Diese Übersicht enthält auch den Vergleich der angegebenen Internationalen Normen (ISO/IEC) mit regionalen (EN) oder nationalen Normen entsprechend der regionalen Gültigkeit dieses Leitfadens.

Im Anhang i, Seite i-6 ff. befindet sich eine Übersicht der relevanten internationalen und lokalen Normen.

Normen sind Vereinbarungen, die zwischen unterschiedlichen Interessenverbänden (Hersteller, Verbraucher, Prüfstellen, Arbeitsschutzbehörden und Regierungen) getroffen werden. Entgegen der oft herrschenden Meinung werden Normen nicht von Regierungen oder Behörden erstellt oder beschlossen. Normen beschreiben den Stand der Technik zum Zeitpunkt ihrer Erstellung. Während der letzten 100 Jahre hat eine Entwicklung von nationalen Normen zu weltweit gültigen Standards stattgefunden. Je nach Einsatzort der Maschine oder des Produkts können unterschiedliche gesetzliche Regelungen zutreffen, die die Anwendung unterschiedlicher Normen erforderlich machen. Die korrekte Auswahl der anzuwendenden Normen ist für den Maschinenhersteller ein Hilfsmittel zur Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben.

Organisationen und Strukturen der weltweiten Normung

ISO (International Standardization Organization)
Die ISO ist ein weltweites Netzwerk von Normungsorganisationen aus 157 Ländern. Die ISO erarbeitet und publiziert internationale Standards mit Fokus auf nicht elektrische Technologien.

IEC (International Electrotechnical Commission)
Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) ist eine globale Organisation, die internationale Standards auf dem gesamten Gebiet der Elektrotechnik (z. B. Elektronik, Fernmeldetechnik, elektromagnetische Verträglichkeit, Energieerzeugung) und damit verwandte Technologien erarbeitet und publiziert.

Verschiedene Normentypen

Man unterscheidet drei verschiedene Normentypen:

A-Normen
(Sicherheitsgrundnormen) enthalten Grundbegriffe, Gestaltungsleitsätze und allgemeine Aspekte, die auf alle Maschinen angewendet werden können.

B-Normen
(Sicherheitsgruppennormen) behandeln einen Sicherheitsaspekt oder eine Sicherheitseinrichtung, die für eine große Bandbreite von Maschinen eingesetzt werden kann. B-Normen werden wiederum unterteilt in:

- B1-Normen zu speziellen Sicherheitsaspekten, z. B. die elektrische Sicherheit von Maschinen, die Berechnung von Sicherheitsabständen, die Anforderungen an Steuerungssysteme
- B2-Normen zu Sicherheitseinrichtungen, z. B. Zweihandschaltungen, trennende Schutzeinrichtungen und berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen

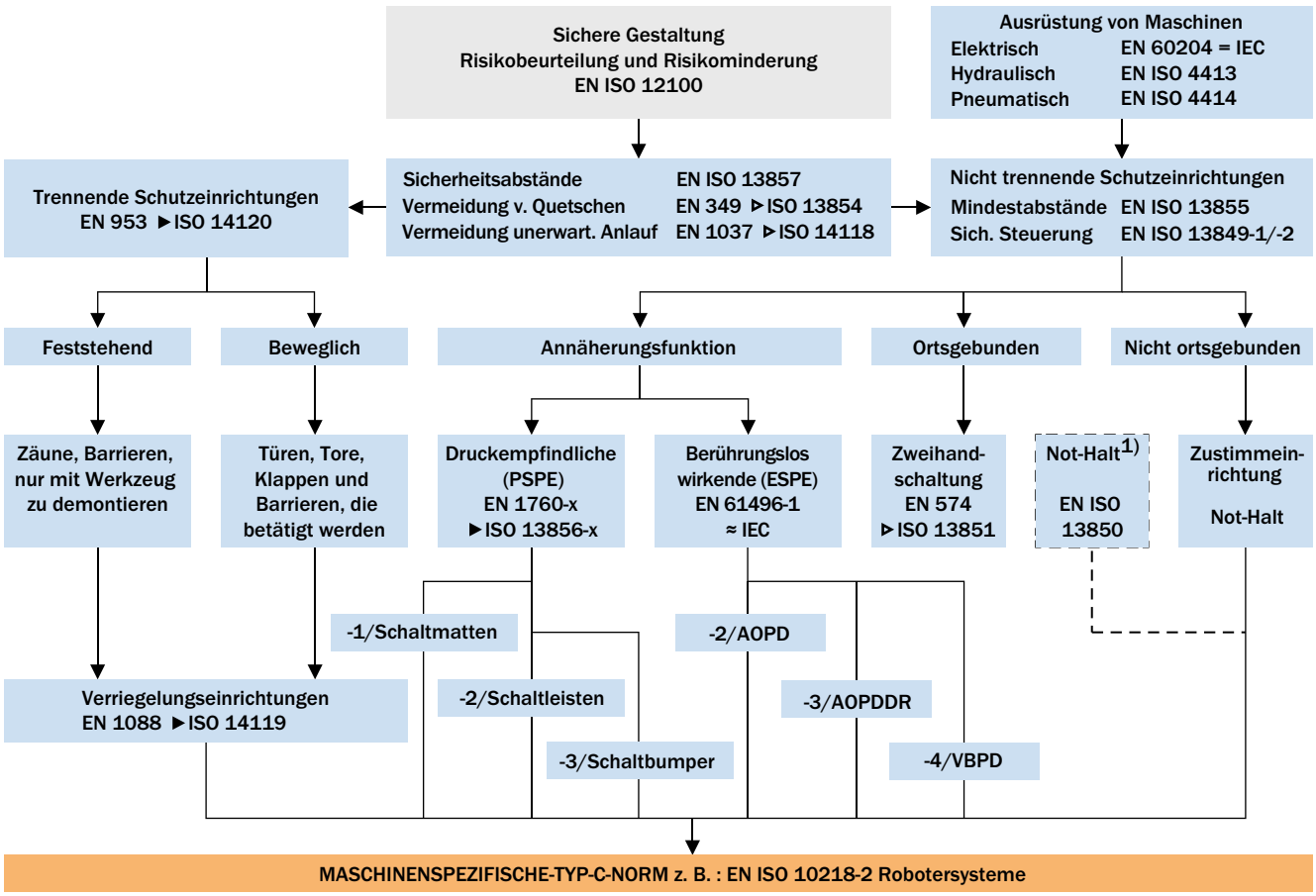
C-Normen
C-Normen enthalten alle Sicherheitsanforderungen für eine spezielle Maschine oder eine Maschinenbauart. Wenn diese Norm existiert, hat sie Vorrang gegenüber der A- oder B-Norm. Dennoch kann eine C-Norm Bezug auf eine B- oder A-Norm nehmen. Auf jeden Fall müssen die Anforderungen der Maschinenrichtlinie erfüllt werden.

Viele A- und B-Normen sowie wichtige C-Normen werden zur Zeit überarbeitet. Dies führt zu einer neuen Nummerierung der EN-ISO-Normenreihe. Es gibt jedoch in der Regel Übergangsfristen. Daher kann die tatsächliche Anwendung einer gerade überarbeiteten Norm erst in fünf oder gar sechs Jahren erfolgen.

→ Eine Liste wichtiger Normen finden Sie im Anhang im Abschnitt „Eine Übersicht relevanter Normen“ → i-6

§

Übersicht Schutzeinrichtungen und zugehörige Normen



1) Not-Halt ist eine Sicherheitsmaßnahme, aber keine Schutzeinrichtung!
▶ EN-Norm wird zurzeit überarbeitet und soll als EN-ISO-Norm herausgegeben werden.
▷ EN-Norm wird in Zukunft überarbeitet und soll als EN-ISO-Norm herausgegeben werden.
AOPD active opto-electronic protective device
AOPDDR active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection
VBPD vision based protective device

Typ-A-Normen
Typ-B-Normen
Typ-C-Normen

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Organisationen und Strukturen der europäischen Normung

CEN (Comité Européen de Normalisation/ Europäisches Komitee für Normung)
Das CEN ist eine Gruppe von Normungsorganisationen aus den EU-Mitgliedsstaaten, den Ländern der EFTA sowie deren zukünftigen EU-Mitgliedern. Das CEN erarbeitet die Europäischen Normen (EN) auf den nicht elektrischen Gebieten. Um zu vermeiden, dass diese Normen Handelshemmnisse darstellen, strengt das CEN eine enge Zusammenarbeit mit der ISO an. CEN bestimmt durch ein Abstimmungsverfahren, ob ISO-Normen übernommen werden, und publiziert diese als Europäische Normen.

CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique/Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung)
Das CENELEC ist die vergleichbare Institution zum CEN auf dem Gebiet der Elektrotechnik und erarbeitet und veröffentlicht die Europäischen Normen (EN) in diesem Bereich. Ähnlich wie zwischen CEN und ISO übernimmt das CENELEC dabei in zunehmendem Maße IEC-Normen und deren Benummerung.

Organisationen und Strukturen der nationalen Normung

In der Regel hat jeder EU-Mitgliedsstaat seine eigene Normungsorganisation wie z. B. DIN, ON, BSI, AFNOR. Diese erstellen und veröffentlichen nationale Normen gemäß den rechtlichen Vorgaben der jeweiligen Mitgliedsstaaten. Um einheitlich die Sicherheit und Gesundheit in der Europäischen Gemeinschaft zu gewährleisten und Handelshemmnisse abzubauen, werden die Europäischen Normen von den nationalen Normungsorganisationen übernommen.

Im Verhältnis zwischen nationalen und Europäischen Normen gelten folgende Grundsätze:

- Wenn für übernommene Europäische Normen gleichartige nationale Normen existieren, müssen diese zurückgezogen werden.
- Wenn keine anwendbaren Europäischen Normen für gewisse Aspekte oder Maschinen existieren, dürfen existierende nationale Normen angewendet werden.
- Eine nationale Normungsorganisation darf erst eine neue nationale Norm erstellen, wenn dieses Vorhaben gemeldet wurde und auf europäischer Ebene (bei der CEN oder der CENELEC) kein Interesse vorliegt.

§

Europäische Normen zur Sicherheit von Maschinen

Um die in den europäischen Richtlinien definierten Ziele und Anforderungen in der Praxis einheitlich umsetzen zu können, sollen technische Normen diese Anforderungen detailliert beschreiben und konkretisieren.
Normen, die die Anforderungen der europäischen Richtlinien so konkretisieren, dass die Einhaltung der Normen die Konformität mit den Richtlinien vermuten lässt, gelten als harmonisierte Normen.
Der Stand der Norm wird durch verschiedene Abkürzungen angezeigt:

- Eine Norm mit dem Präfix „EN“ ist in allen EU-Staaten anerkannt und anwendbar.
- Eine Norm mit dem Präfix „prEN“ ist derzeit in Bearbeitung.
- Ein Dokument, das als Präfix zusätzlich „TS“ enthält, ist eine Technische Spezifikation und dient als Vornorm. Diese gibt es als CLC/TS oder als CEN/TS.
- Ein Dokument, das als Präfix zusätzlich „TR“ enthält, ist ein Bericht über den Stand der Technik.

So entsteht eine harmonisierte europäische Norm:

1. Die EU-Kommission als das ausführende Organ der EU erlässt ein Mandat an CEN oder CENELEC zur Erarbeitung einer europäischen Norm, um die Anforderungen einer Richtlinie zu konkretisieren.
2. Diese Erarbeitung findet in internationalen Gremien statt, in denen die technischen Spezifikationen zur Erfüllung der wesentlichen Sicherheitsanforderungen der Richtlinie(n) festgelegt werden.
3. Sobald die Norm durch die Abstimmung angenommen ist, wird sie im EU-Amtsblatt veröffentlicht. Zusätzlich muss die Norm mindestens in einem Mitgliedsstaat veröffentlicht werden (z. B. als DIN EN). Dann gilt sie als eine harmonisierte europäische Norm.

- Eine harmonisierte europäische Norm dient als Referenz und ersetzt alle nationalen Normen zum gleichen Thema.
- Die Konformität mit anwendbaren harmonisierten Normen begründet die Annahme, dass eine Maschine oder ein Sicherheitsbauteil die entsprechenden grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der Richtlinien (z. B. der Maschinenrichtlinie) erfüllt (Vermutungswirkung).

→ Übersicht zur Normung: www.normapme.com
→ Eine Auflistung der Normen, die für die Richtlinien Vermutungswirkung besitzen, finden Sie unter ec.europa.eu

- Von der Maschinenrichtlinie wird die Anwendung der Normen nicht verlangt, unabhängig davon, ob sie harmonisiert sind oder nicht. Die Anwendung von harmonisierten Normen jedoch begründet die sogenannte „Konformitätsvermutung“, dass die Maschine die Vorgaben der Maschinenrichtlinie erfüllt.
- Wenn eine C-Norm für einen Maschinentyp existiert, dann hat diese Vorrang vor allen anderen A- und B-Normen und auch vor jeglichen Angaben dieses Leitfadens. In diesem Fall begründet nur die angewandte C-Norm die Konformitätsvermutung zur Erfüllung der Maschinenrichtlinie.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Zusammenfassung: Normen

- Technische Normen konkretisieren die in den europäischen Richtlinien definierten Ziele.
- Die Anwendung von harmonisierten Normen begründet die sogenannte „Konformitätsvermutung“, also die Vermutung, dass die Maschine die Vorgaben der Richtlinie erfüllt. D. h., wenn Sie die für Ihre Maschine oder Anlage richtigen Normen auswählen und anwenden, können Sie davon ausgehen, dass Sie die gesetzlichen Anforderungen einhalten. Im Einzelfall können die Pflichten des Herstellers über den Inhalt der Normen hinausgehen, wenn z. B. eine Norm nicht mehr dem Stand der Technik entspricht.
- Es gibt A-Normen (Sicherheitsgrundnormen), B-Normen (Sicherheitsgruppennormen) und C-Normen (Normen zur Sicherheit von Maschinen). Wenn eine C-Norm existiert, hat sie Vorrang gegenüber der A- oder B-Norm.

§

Prüfstellen, Versicherungen und Behörden

Prüfstellen

Sicherheitsberatende Prüfstellen
Firmen, die wissen wollen, ob ihre Maschinen mit den jeweils gültigen europäischen Richtlinien und Normen übereinstimmen, können sich sicherheitstechnisch von Prüfstellen beraten lassen.

Akkreditierte Prüfstellen
Akkreditierte Prüfstellen sind Prüfstellen, die die Einhaltung von Prüfverfahren und Prüfkriterien der anerkannten nationalen Institutionen bescheinigen. Dies sind u. a. berufsgenossenschaftliche Prüfstellen und Unfallversicherungsanstalten, die in der Regel über sehr kompetente Fachprüfstellen verfügen.

Notifizierte Prüfstellen
Jeder EG-Mitgliedsstaat ist verpflichtet, Prüfstellen gemäß den in der Maschinenrichtlinie festgelegten Mindestanforderungen zu benennen und diese Stellen der Europäischen Kommission in Brüssel zu melden.
Nur diese Prüfstellen sind bevollmächtigt, EG-Baumusterprüfungen durchzuführen und EG-Baumusterprüfbescheinigungen für die Maschinen und Sicherheitsbauteile, die in Anhang IV der Maschinenrichtlinie aufgeführt sind, auszustellen. Nicht alle notifizierten Prüfstellen können jede Art von Produkt oder Maschine prüfen. Viele Prüfstellen sind nur für spezielle Tätigkeitsbereiche notifiziert.

Versicherungen

Berufsgenossenschaften/IFA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
In Deutschland übernehmen die Berufsgenossenschaften und andere Träger die gesetzliche Unfallversicherungspflicht. Die Berufsgenossenschaften sind in Fachverbänden organisiert, um so die spezifischen Anforderungen der einzelnen Wirtschaftsbranchen besser zu erfüllen.

Versicherungsgesellschaften
Viele Versicherungsgesellschaften unterhalten Beratungsstellen, die eine kompetente Fachberatung anbieten, insbesondere im Hinblick auf die Vermeidung von Haftungsrisiken, die sich aus Unkenntnis oder Nichtbeachtung von gesetzlichen Anforderungen ergeben.

Marktaufsicht – Behörden

In den Staaten der EU und der EFTA unterliegt der Arbeitsschutz und die Marktaufsicht der Zuständigkeit von nationalen Behörden.

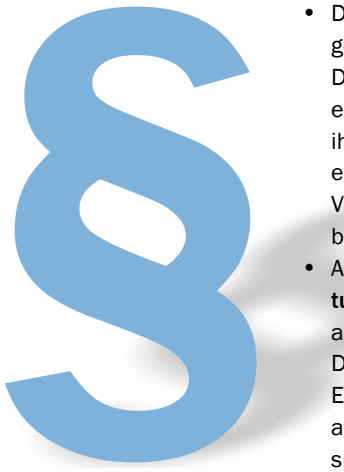
- In Deutschland sind es die staatlichen Ämter für Arbeitsschutz der Bundesländer.
- Österreich unterhält eine Reihe von Arbeitsschutzinspektoraten. An diese können sich auch die Maschinenhersteller wenden, um bei Fragen der Maschinen- und Arbeitssicherheit fachkundige Beratung zu erhalten.
- In der Schweiz ist für die Marktaufsicht das Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) zuständig. Den Vollzug übernimmt die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), die sich auch durch eine hohe technische Kompetenz auszeichnet.

→ Wichtige Adressen finden Sie im Anhang im Abschnitt „Nützliche Links“ → i-8.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Grundlagen der Produkthaftung

Der Begriff **Produkthaftung** wird häufig als Oberbegriff für jede Art der Haftung eines Herstellers oder Verkäufers für ein Produkt verwendet (einschließlich der Haftung für Sachmängel an dem Produkt oder für durch dieses verursachte Schäden). In der rechtlichen Bewertung gibt es aber je nach Art des Schadens oder der Verursachung erhebliche Unterschiede. Zunächst ist zu differenzieren zwischen der Sachmängelhaftung und der Produkthaftung im weiteren Sinne. Unter **Sachmängelhaftung** (auch Gewährleistungsrecht) ist die Haftung für Defekte am Produkt selbst zu verstehen. Ansprüche aus Sachmängelhaftung können nur zwischen Vertragspartnern geltend gemacht werden, nicht hingegen von Dritten.



Die **Produkthaftung im weiteren Sinne** kann man weiter unterteilen:

- Die **deliktische Produkthaftung** (im deutschen Recht geregelt in § 823 BGB).
  Die deliktische Produkthaftung greift ein, wenn jemand einem anderen (in diesem Zusammenhang durch ein von ihm hergestelltes Produkt) vorsätzlich oder fahrlässig einen Schaden zufügt. Auf diese Vorschrift kann sich bei Vorliegen der weiteren Voraussetzungen jeder Geschädigte berufen, auch Nichtvertragspartner (sogenannte Dritte).
- Auf die (eigentliche) **Produkthaftung nach dem Produkthaftungsgesetz** (ProdHaftG) können sich Vertragspartner wie auch Dritte berufen.
  Das deutsche Produkthaftungsgesetz basiert auf einer EU-Richtlinie. Eine vergleichbare Regelung gilt daher in allen europäischen Ländern. Darüber hinaus gibt es entsprechende Regelungen auch in vielen nichteuropäischen Ländern. Nachfolgend soll ein kurzer Überblick über die im deutschen Recht geltenden Regelungen gegeben werden. Es werden jedoch bewusst nur die wesentlichen Eckpunkte dargestellt und nicht alle Voraussetzungen oder Ausschlüsse genannt.

Voraussetzungen

Die Haftung des Herstellers ist in § 1 ProdHaftG wie folgt geregelt:

> „Wird durch einen Fehler eines Produktes jemand getötet, sein Körper oder seine Gesundheit verletzt oder eine Sache beschädigt, so ist der Hersteller des Produktes verpflichtet, den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen."

Hieraus ergeben sich folgende Voraussetzungen:

Hersteller (§ 4 ProdHaftG)
Er muss das Produkt in Verkehr gebracht haben. Hierzu zählt auch derjenige, der ein Produkt in den EWR importiert oder das Produkt eines anderen Herstellers als Private-Label-Produkt mit dem eigenen Label vertreibt (sog. „Quasi-Hersteller").

Fehlerhaftes Produkt (§ 3 ProdHaftG)
Wenn ein Produkt nicht die Sicherheit bietet, die unter Berücksichtigung aller Umstände berechtigterweise erwartet werden kann.

Durch das fehlerhafte Produkt verursachter Schaden: Körper- oder Gesundheitsverletzung oder Sachschaden (jedoch nicht an dem Produkt selbst und nur an Sachen, die gewöhnlich für den privaten Ge- oder Verbrauch bestimmt sind und von dem Geschädigten hauptsächlich entsprechend verwendet wurden). Reine Vermögensschäden sind über das ProdHaftG nicht zu ersetzen. Eine Ausnahme gilt nur, wenn der Vermögensschaden direkte Folge einer Körper- oder Gesundheitsverletzung oder eines unter das ProdHaftG fallenden Sachschadens ist (z. B. ärztliche Behandlungskosten, Geldrente wegen Minderung der Erwerbsfähigkeit etc.).
Im Gegensatz zu Schadensersatzansprüchen unter dem Gewährleistungsrecht oder aus deliktischer Haftung ist für die Haftung nach dem ProdHaftG kein Verschulden erforderlich. Sie kann also auch bei Beachtung der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt vorliegen (und somit ohne Fahrlässigkeit). Es handelt sich um eine sog. Gefährdungshaftung, bei der es zur Begründung der Haftung ausreicht, wenn im Rahmen einer erlaubten Tätigkeit eine Gefahr entsteht, die sich später verwirklicht.

§

Pflichten des Herstellers

Es wird zwischen mehreren Fehlerarten unterschieden, die eine Haftung nach dem ProdHaftG begründen können:

Konstruktionsfehler
Diese sind in der Konzeption des Produkts, z. B. im technischen Design oder in der Auswahl der Materialien, begründet und wirken sich auf die gesamte Produktion aus.

Fabrikationsfehler
Fabrikationsfehler sind Herstellungsfehler bei einzelnen Produkten oder Chargen. Der Hersteller haftet nach dem ProdHaftG auch für sogenannte „Ausreißer".

Instruktionsfehler
Instruktionsfehler liegen vor, wenn durch mangelhafte Instruktion über das Produkt (z. B. in Bedienungsanleitungen) Risiken begründet werden. Hierzu zählen auch fehlende oder versteckte Warnhinweise. Der Hersteller muss sich hier nach dem am wenigsten informierten Benutzer richten und auch einen erwartbaren Fehlgebrauch eines Produkts berücksichtigen. Das ProdHaftG verpflichtet den Hersteller somit, die Sicherheit des Produkts im Rahmen von Entwicklung, Produktion und Instruktion zu gewährleisten.

Hier ist vor allem auf die Einhaltung zwingender Rechtsvorschriften zu achten – beruht ein Fehler (nur) auf deren Einhaltung, haftet der Hersteller nicht. Technische Normen (Europäische Normen – EN – oder nationale Normen wie DIN, VDE etc.) sollten in diesem Zusammenhang als Mindeststandard für die erforderliche Sicherheit betrachtet werden. Die Verpflichtungen des Herstellers können über die Einhaltung von Gesetzen oder technischen Normen auch noch hinausgehen, wenn berechtigterweise weitergehende Maßnahmen zur Sicherstellung der Produktsicherheit hätten erwartet werden können. Laut höchstrichterlicher Rechtsprechung genügt dann die Einhaltung von EN-Normen nicht mehr zur Erfüllung der einem Hersteller obliegenden Verkehrssicherungspflicht, wenn die Entwicklung über sie hinweggegangen ist oder wenn sich bei der Benutzung eines Geräts eine Gefahr zeigt, die in EN-Normen nicht berücksichtigt worden ist.

Schadenshöhe

Der dem Geschädigten entstandene Schaden ist vom Hersteller grundsätzlich in voller Höhe zu ersetzen. Eine Begrenzung sieht das deutsche ProdHaftG nur bei Personenschäden vor. Hier gilt ein Haftungshöchstbetrag von 85 Mio. Euro. Eine weitergehende Begrenzung ist Dritten gegenüber mangels Vertrags nicht möglich, aber auch dem Vertragspartner gegenüber weder in allgemeinen Geschäftsbedingungen noch in Individualverträgen zulässig.

Absichern kann sich der Hersteller durch Abschluss einer Produkthaftpflichtversicherung in ausreichender Höhe.

Zusammenfassung: Produkthaftung

- Vermeiden Sie als Hersteller die Haftung nach dem ProdHaftG:
  - Beachten Sie die geltenden Normen.
  - Prüfen Sie, ob darüber hinausgehende Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit eines Produkts erforderlich sind.
- Vermeiden Sie Fehler durch konsequente Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle.
- Minimieren Sie das verbleibende Risiko für den Hersteller durch eine ausreichende Versicherung.

Festzuhalten bleibt noch, dass – sofern kein Fall der Beweislastumkehr vorliegt – im Schadensfall grundsätzlich der Geschädigte die Beweislast dafür trägt, dass ein fehlerhaftes Produkt zu einer Körper- oder Sachbeschädigung geführt hat und ursächlich für einen entstandenen Schaden war. Dies ist nicht immer unproblematisch möglich, insbesondere wenn mehrere mögliche Ursachen in Betracht kommen.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

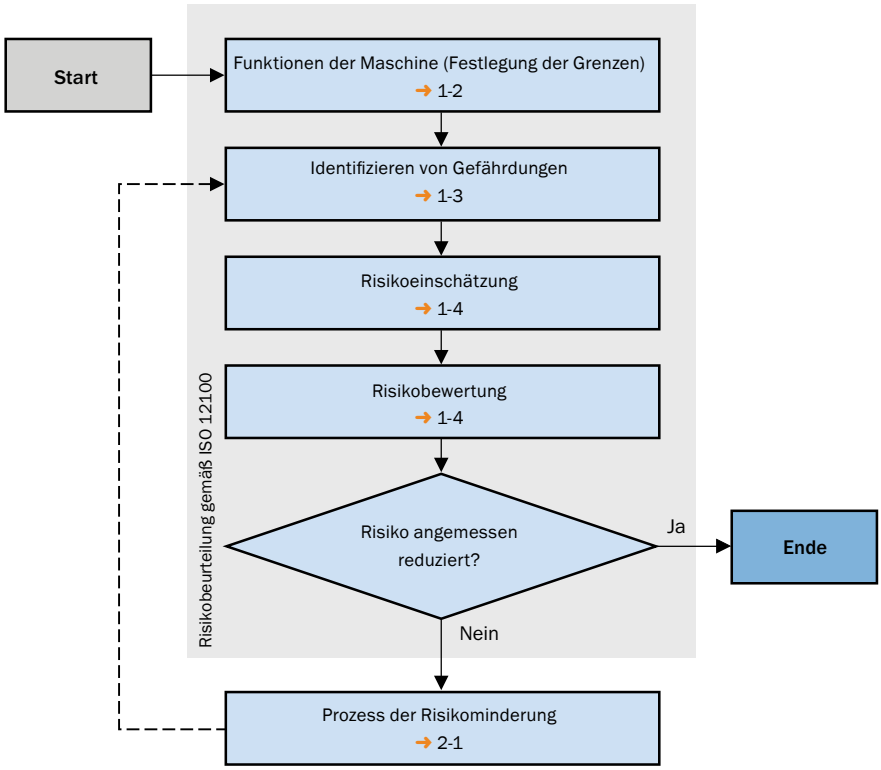
Schritt 1: Risikobeurteilung

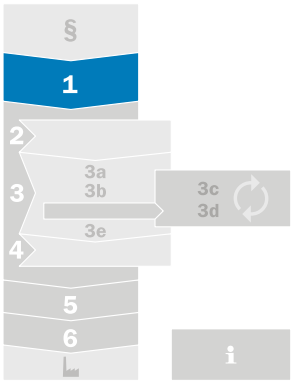
Beim Konstruieren einer Maschine müssen die möglichen Risiken analysiert und, wo nötig, Maßnahmen vorgesehen werden, um den Bediener vor bestehenden Gefährdungen zu schützen.
Um dem Maschinenhersteller eine Hilfestellung bei dieser Aufgabe zu geben, definieren und beschreiben die Normen den Prozess der Risikobeurteilung. Eine Risikobeurteilung ist eine Folge von logischen Schritten, die die systematische Analyse und Bewertung von Risiken erlauben. Die Maschine muss unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Risikobeurteilung konstruiert und gebaut werden.

Wo erforderlich, folgt einer Risikobeurteilung eine Risikominderung, indem geeignete Schutzmaßnahmen angewendet werden. Durch die Anwendung von Schutzmaßnahmen sollte kein neues Risiko entstehen. Die Wiederholung des gesamten Vorgangs, also von Risikobeurteilung und Risikominderung, kann erforderlich sein, um Gefährdungen so weit wie möglich zu beseitigen und die erkannten oder hinzugekommenen Risiken hinreichend zu vermindern. In vielen C-Normen ist die Risikobeurteilung maschinenbezogen und anwendungsnah vorgegeben. Wenn keine C-Normen anwendbar oder diese nicht ausreichend sind, dann können die Vorgaben der A- und B-Normen herangezogen werden.

→ Sichere Gestaltung, Risikobeurteilung und Risikominderung
A-Norm: ISO 12100

Der Prozess der Risikobeurteilung





In diesem Kapitel ...

Prozess der Risikobeurteilung. 1-1
Funktionen der Maschine 1-2
Identifizieren von Gefährdungen. . . 1-3
Risikoeinschätzung
und -bewertung. 1-4
Dokumentation. 1-4
Safexpert®. 1-5
Zusammenfassung. 1-6

- Der Prozess muss für alle Gefährdungen durchgeführt werden. Er muss so lange wiederholt werden (iterativer Prozess), bis das verbleibende Restrisiko annehmbar gering ist.
- Die erreichten Ergebnisse der Risikobeurteilung und das angewendete Verfahren sind zu dokumentieren.

Funktionen der Maschine (Festlegung der Grenzen)

Die Risikobeurteilung beginnt mit der Festlegung der Funktionen der Maschine. Diese können sein:

- die Spezifikation der Maschine (was wird produziert, maximale Produktionsleistung, vorgesehene Materialien)
- räumliche Grenzen und voraussichtlicher Einsatzort
- die geplante Lebensdauer
- die beabsichtigten Funktionen und Betriebsarten
- die zu erwartenden Fehlfunktionen und Störungen
- die am Maschinenprozess beteiligten Personen
- die mit der Maschine in Zusammenhang stehenden Produkte
- der bestimmungsgemäße Gebrauch, aber auch das unbeabsichtigte Verhalten der Bedienperson oder die vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung (Missbrauch) der Maschine

Vorhersehbare Fehlanwendung

Das vernünftigerweise annehmbare, unbeabsichtigte Verhalten der Bedienperson oder die vorhersehbare Fehlanwendung können unter anderem sein:

- Verlust der Kontrolle der Bedienperson über die Maschine (besonders bei handgehaltenen oder beweglichen Maschinen)
- reflexartiges Verhalten von Personen im Falle einer Fehlfunktion, eines Störfalls oder Ausfalls während des Gebrauchs der Maschine
- Fehlverhalten durch Konzentrationsmangel oder Unachtsamkeit
- Fehlverhalten, das bei der Durchführung einer Aufgabe auf die Wahl des „Weges des geringsten Widerstands“ zurückzuführen ist
- Verhalten unter dem Druck, die Maschine unter allen Umständen in Betrieb zu halten
- Verhalten von bestimmten Personenkreisen (z. B. Kinder, Jugendliche, Menschen mit Behinderungen)

Zu erwartende Fehlfunktion und Störungen

Ein hohes Gefahrenpotenzial geht von Fehlfunktionen und Störungen der für die Betriebsfunktionen relevanten Komponenten (insbesondere der Steuerung) aus. Beispiele:

- Umkehren der Walzbewegung (sodass Hände eingezogen werden)
- Bewegung eines Roboters außerhalb seines programmierten Arbeitsbereichs

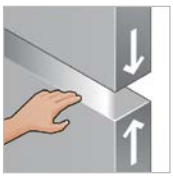
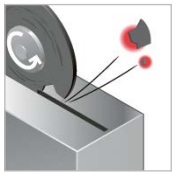
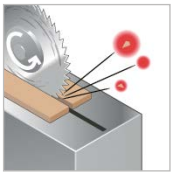
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Identifizieren von Gefährdungen

Nach der Festlegung der Funktion der Maschine folgt der wichtigste Schritt bei der Risikobeurteilung der Maschine. Dieser besteht in der systematischen Identifizierung vorhersehbarer Gefährdungen, Gefährdungssituationen und/oder Gefährdungsereignisse.

Insbesondere sollte der Maschinenhersteller die nachstehenden Gefahren...	**...in allen Phasen der Lebensdauer der Maschine berücksichtigen.**
• mechanische Gefährdungen • elektrische Gefährdungen • thermische Gefährdungen • Gefährdungen durch Lärm • Gefährdungen durch Schwingungen • Gefährdungen durch Strahlung • Gefährdungen durch Materialien und Substanzen • Gefährdungen durch Vernachlässigung ergonomischer Grundsätze bei der Konstruktion von Maschinen • Gefährdungen durch Ausrutschen, Stolpern und Stürzen • Gefährdungen im Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine • Gefährdungen, die sich aus Kombinationen der o. g. Gefährdungen ergeben	• Transport, Zusammenbau und Installation • Inbetriebnahme • Einrichten • Normalbetrieb und Störungsbeseitigung • Wartung und Reinigung • Außerbetriebnahme, Demontage und Entsorgung

Beispiele für mechanische Gefährdungen an Maschinen/Anlagen

	Schneiden		Quetschen
	Abscheren		Stechen
	Einziehen oder Fangen		Einziehen oder Fangen
	Fangen		Stoßen
	Einwirkung durch gebrochene Teile		Einwirkung durch herausgeschleuderte Späne

Risikoeinschätzung und Risikobewertung

Nachdem die Gefährdungen identifiziert wurden, ist für jede betrachtete Gefährdungssituation eine **Risikoeinschätzung** durchzuführen.

Risiko	=	Schadens-ausmaß	×	Eintrittswahr-scheinlichkeit

Das mit der betrachteten Gefährdungssituation zusammenhängende Risiko hängt von folgenden Elementen ab:

- dem Schadensausmaß, das durch die Gefährdung verursacht werden kann (leichte Verletzung, schwere Verletzung etc.) und
- der Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Schadens. Diese ergibt sich aus:
  - der Gefährdungsexposition einer Person/von Personen
  - dem Eintritt eines Gefährdungsereignisses und
  - den technischen und menschlichen Möglichkeiten zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens

Für die Einschätzung von Risiken gibt es verschiedene Werkzeuge, z. B. Tabellen, Risikographen, numerische Methoden etc.

Bei der **Risikobewertung** wird anhand der Ergebnisse der Risikoeinschätzung festgelegt, ob die Anwendung von Schutzmaßnahmen erforderlich ist und wann die erforderliche Risikominderung erreicht wurde.

➜ Werkzeuge und Tabellen: Technical Report – ISO/TR 14121-2

Dokumentation

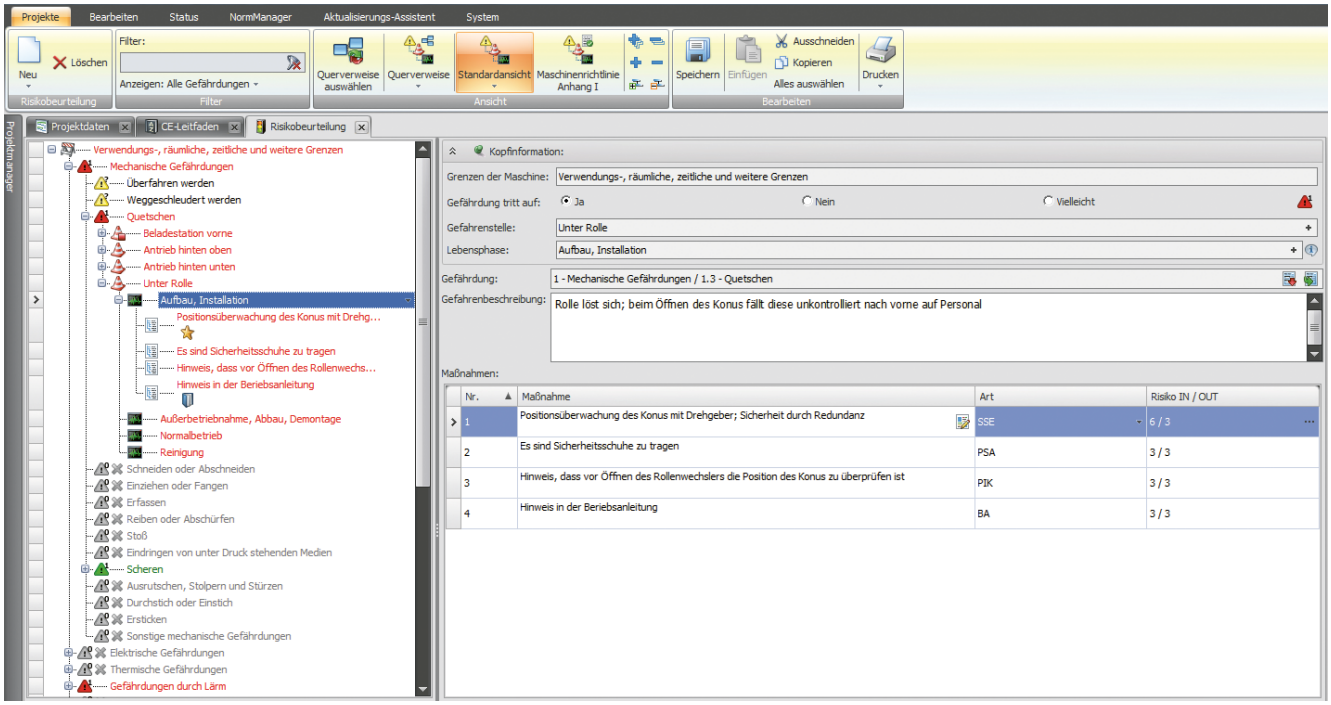
Die Dokumentation zur Risikobeurteilung muss das angewendete Verfahren und die erzielten Ergebnisse sowie folgende Angaben beinhalten:

- Angaben über die Maschine wie Spezifikationen, Grenzen, bestimmungsgemäße Verwendung etc.
- wichtige Annahmen, die getroffen wurden, wie Lasten, Festigkeiten, Sicherheitskoeffizienten
- alle identifizierten Gefährdungen und Gefährdungssituationen und in Betracht gezogenen Gefährdungsereignisse
- verwendete Daten und deren Quellen wie die Unfallgeschichten und Erfahrungen bei der Risikominderung an vergleichbaren Maschinen
- eine Beschreibung der angewendeten Schutzmaßnahmen
- eine Beschreibung der durch diese Schutzmaßnahmen zu erreichenden Risikominderungsziele
- die mit der Maschine noch verbundenen Restrisiken
- alle während der Risikobeurteilung erstellten Dokumente

Die Maschinenrichtlinie fordert nicht, dass die Dokumentation zur Risikobeurteilung mit der Maschine zu übergeben ist!

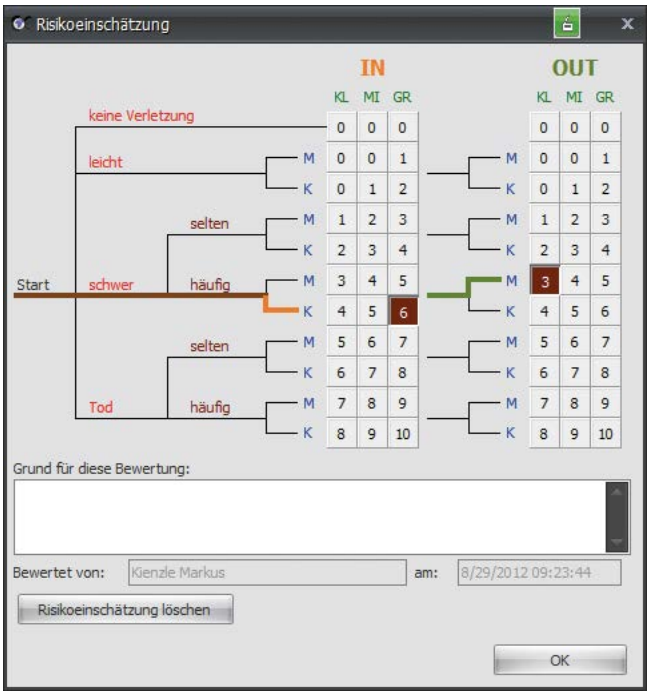
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

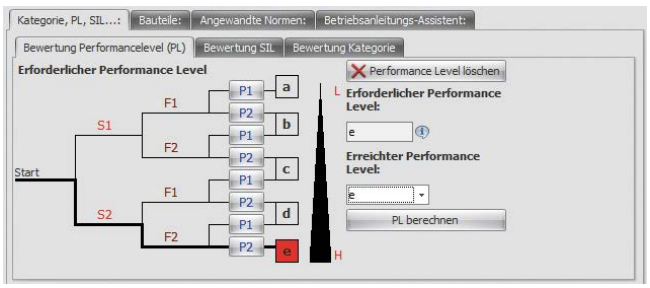
Risikobeurteilung mit Safexpert®



Der Prozess der Risikobeurteilung ist in Safexpert®, einer Software für CE-Management, angelegt. Der Anwender wird durch die gesetzlichen und normativen Vorgaben geführt. Die hinterlegte Gefährdungsliste, das CE-Management zur strukturierten Risikobeurteilung und das Schema zur Bewertung des Risikos sowie des notwendigen Sicherheitsniveaus bei steuerungstechnischen Maßnahmen vereinfachen die Durchführung. Mithilfe des NormManagers und des Aktualisierungsassistenten werden die benötigten Normen immer auf dem aktuellen Stand gehalten. Die Gefahren werden getrennt nach Gefahrstellen und in den jeweiligen Lebensphasen der Maschine betrachtet. Die Bewertung einzelner Gefahren führt zur optimalen Auswahl der Maßnahmen zur Beseitigung von Gefährdungen oder Minderung der Risiken. In Safexpert® wird eine Kombination aus Risikograph und Matrix (Tabelle) angewendet. Die Einschätzung erfolgt, bevor (IN) und nachdem (OUT) die Schutzmaßnahme (z. B. Schutzeinrichtung) ausgewählt wurde. Das Risiko wird in einer Skala von 0 (kein Risiko) bis 10 (höchstes Risiko) eingeteilt.

Safexpert® dient nicht nur der Risikobeurteilung. Mit Safexpert® kann der gesamte Konformitätsprozess gemäß der Maschinenrichtlinie effizient durchgeführt und dokumentiert werden.





Zusammenfassung: Risikobeurteilung

Allgemein

- Führen Sie eine Risikobeurteilung für alle Gefährdungen durch. Dieser iterative Prozess muss alle Gefahren und Risiken berücksichtigen, bis keine oder nur annehmbar geringe Restrisiken verbleiben.

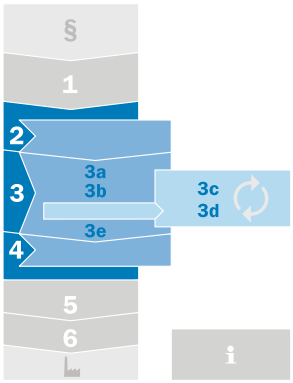
Prozess der Risikobeurteilung

- Beginnen Sie die Risikobeurteilung mit der Festlegung der Funktionen der Maschine.
- Berücksichtigen Sie bei der Risikobeurteilung insbesondere vorhersehbare Fehlanwendungen und Störungen.
- Identifizieren Sie anschließend die Gefährdungen (mechanische, elektrische, thermische etc.), die von der Maschine ausgehen. Berücksichtigen Sie diese Gefährdungen in allen Phasen der Lebensdauer der Maschine.
- Schätzen Sie dann die von den Gefährdungen ausgehenden Risiken ein. Diese hängen vom Schadensausmaß und von der Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens ab.
- Dokumentieren Sie die Ergebnisse Ihrer Risikobeurteilung.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

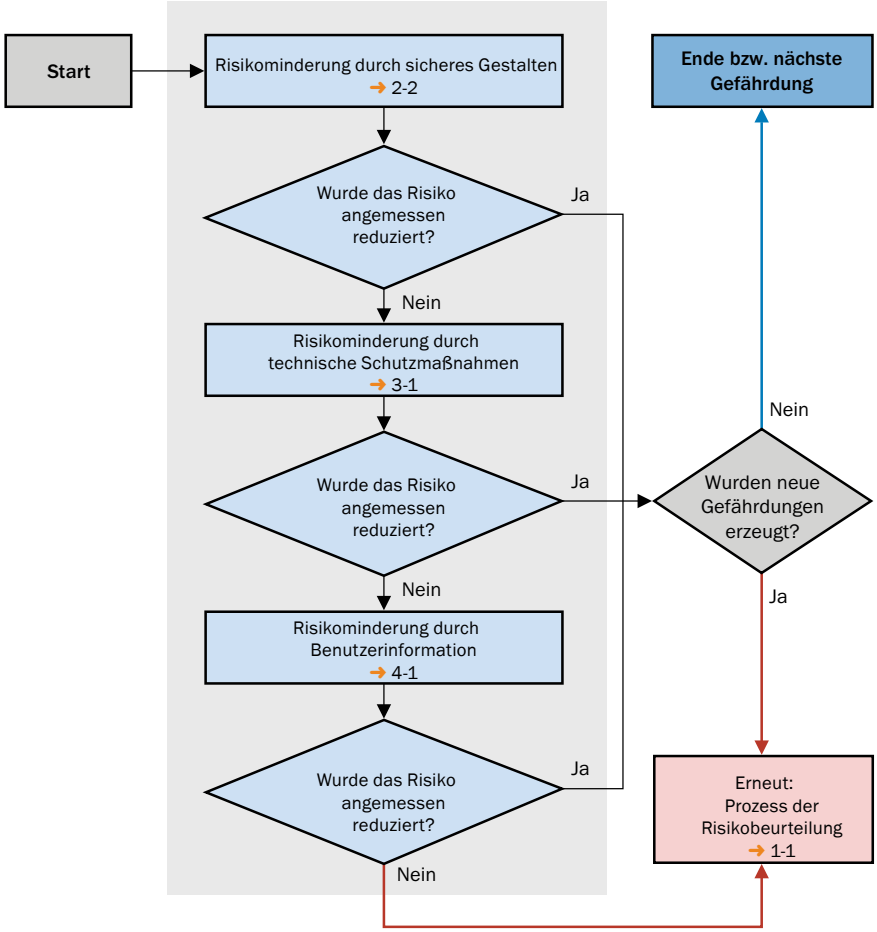
Schritte 2 bis 4: Risikominderung

Wenn die Risikobewertung ergab, dass Maßnahmen nötig sind, um das Risiko zu minimieren, dann muss die 3-Stufen-Methode angewendet werden.

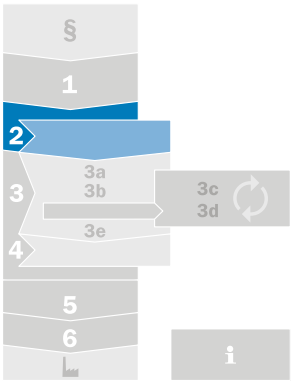


Die 3-Stufen-Methode

1. Der Maschinenhersteller muss bei der Wahl der Maßnahmen folgende Grundsätze anwenden, und zwar in der angegebenen Reihenfolge:
2. Sicheres Gestalten: Beseitigung oder Minimierung der Risiken so weit wie möglich (Integration der Sicherheit in Konstruktion und Bau der Maschine)
3. Technische Schutzmaßnahmen: Ergreifen der notwendigen Schutzmaßnahmen gegen Risiken, die sich konstruktiv nicht beseitigen lassen Benutzerinformation über Restrisiken



→ Leitsätze zum Prozess der Risikominderung: ISO 12100 (A-Norm)



2

In diesem Kapitel ...

Mechanische Konstruktion 2-2
Bedien- und Instandhaltungskonzept 2-3
Elektrische Ausrüstung 2-4
Stillsetzen 2-9
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) 2-9
Fluidtechnik. 2-11
Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen 2-12
Zusammenfassung. 2-13

Schritt 2: Sicheres Gestalten (inhärent sichere Konstruktion)

Sicheres Gestalten ist die erste und wichtigste Stufe des Risikominderungsprozesses. Hierbei werden mögliche Gefahren schon durch die Konstruktion und Gestaltung ausgeschlossen. Daher ist die Wirksamkeit des sicheren Gestaltens nachweislich am höchsten.
Aspekte des sicheren Gestaltens betreffen die Konstruktion der Maschine und die Wechselwirkungen zwischen den gefährdeten Personen und der Maschine.

Beispiele:

- mechanische Konstruktion
- Bedien- und Instandhaltungskonzept
- elektrische Ausrüstung (elektrische Sicherheit, EMV)
- Konzepte zum Stillsetzen im Notfall
- fluidtechnische Ausrüstung
- eingesetzte Werk- und Betriebsstoffe
- Maschinenfunktion und Produktionsprozess

In jedem Fall sollen alle Komponenten so ausgewählt, angewendet und angepasst werden, dass im Falle eines Fehlers an der Maschine die Sicherheit von Personen im Vordergrund steht. Die Vermeidung eines Schadens an der Maschine und der Umgebung soll ebenfalls beachtet werden. Alle Bestandteile der Maschinenkonstruktion sollen so spezifiziert werden, dass sie innerhalb ihrer zulässigen Grenzwerte funktionieren. Grundsätzlich sollte das Design so einfach wie möglich ausgeführt werden. Sicherheitsbezogene Funktionen sind von anderen Funktionen so gut wie möglich zu trennen.

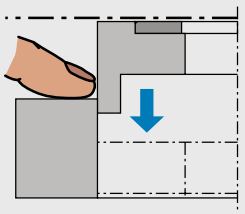
Mechanische Konstruktion

Das erste Ziel eines jeden Designs muss es sein, Gefährdungen erst gar nicht entstehen zu lassen. Dies erreicht man zum Beispiel durch:

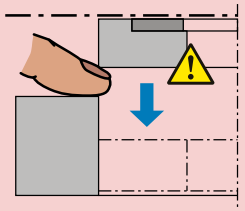
- Vermeiden von scharfen Kanten, Ecken und vorstehenden Teilen
- Vermeiden von Quetschstellen, Scherstellen und Einzugstellen
- Begrenzen der kinetischen Energie (Masse und Geschwindigkeit)
- Beachten ergonomischer Grundsätze

Beispiel: Vermeiden von Scherstellen

Richtig

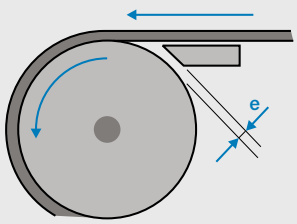


Falsch

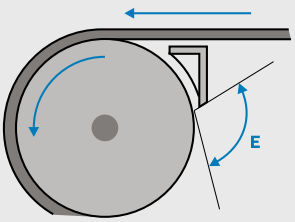


Quelle: Neudörfer

Beispiele: Vermeiden von Einzugstellen



Der Abstand **e** sollte ≤ 6 mm sein!



Der Winkel **E** sollte ≥ 90° sein!

Quelle: Neudörfer

→ Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer-Verlag, Berlin u. a., ISBN 978-3-642-33889-2 (5. Auflage 2013)

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Bedien- und Instandhaltungskonzept

Die Notwendigkeit, sich dem Gefahrbereich auszusetzen, sollte so gering wie möglich sein. Dies kann beispielhaft erreicht werden durch:

- automatische Be- und Entladungsstationen
- Einricht- und Wartungsarbeiten von „außen“
- Verwendung von zuverlässigen und verfügbaren Bauteilen, um Wartungsarbeiten zu vermeiden
- klares und eindeutiges Bedienkonzept, z. B. klare Kennzeichnung von Bedienteilen

Farbliche Kennzeichnung

Bedienteile von Drucktastern sowie Anzeigeleuchten oder Anzeigen auf Bildschirmen sind farblich zu kennzeichnen. Den einzelnen Farben sind unterschiedliche Bedeutungen zugeordnet.

➜ Elektrische Ausrüstung von Maschinen: IEC 60204-1

Allgemeine Bedeutung der Farben von Bedienteilen

Farbe	Bedeutung	Erläuterung
Weiß Grau Schwarz	Unspezifisch	Einleiten von Funktionen
Grün	Sicher	Bei sicherer Bedienung betätigen oder um normalen Zustand vorzubereiten
Rot	Notfall	Bei Gefahr bringendem Zustand oder im Notfall betätigen
Blau	Vorschrift	Bei Zustand betätigen, der zwingende Handlung erfordert
Gelb	Anormal	Bei anormalem Zustand betätigen

Allgemeine Bedeutung der Farben von Anzeigeleuchten

Farbe	Bedeutung	Erläuterung
Weiß	Neutral	Verwenden bei Zweifel über die Anwendung von Grün, Rot, Blau oder Gelb
Grün	Normaler Zustand	
Rot	Notfall	Gefahr bringender Zustand, mit sofortiger Handlung reagieren
Blau	Zwingend	Anzeige eines Zustands, der eine zwingende Handlung durch den Bediener erfordert
Gelb	Anormal	Anormaler Zustand, bevorstehender kritischer Zustand

Elektrische Ausrüstung

Es sind Maßnahmen nötig, um elektrische Gefährdungen an Maschinen auszuschließen. Hierbei unterscheidet man zwei Gefährdungsarten:

- Gefahren, die sich durch den elektrischen Strom ergeben, d. h. Gefährdungen durch direktes und indirektes Berühren
- Gefahren durch Situationen, die indirekt durch Fehler in der Steuerung entstehen

→ In den folgenden Unterkapiteln finden Sie wichtige Punkte für die Gestaltung der elektrischen Ausrüstung.
→ Elektrische Ausrüstung von Maschinen: IEC 60204-1

2

Netzanschluss

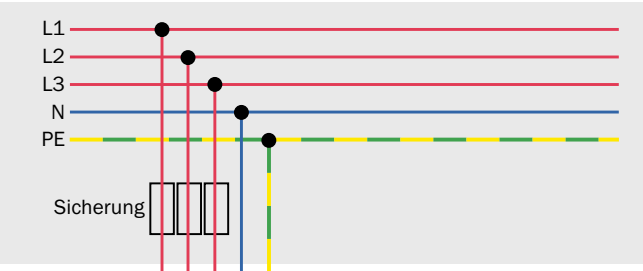
Der Netzanschluss ist die Schnittstelle zwischen der elektrischen Ausrüstung der Maschine und dem Versorgungsnetz. Für den Anschluss sind die Bestimmungen des jeweiligen Netzbetreibers zu beachten.

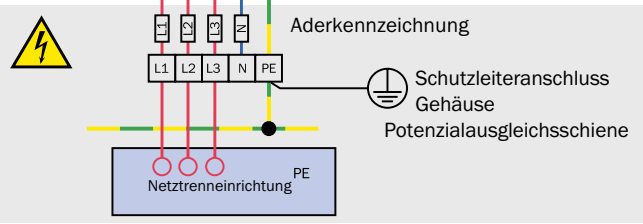
Insbesondere in sicherheitstechnischen Anwendungen ist eine stabile Netzversorgung notwendig. Daher sollen die Spannungsversorgungen kurzzeitige Netzausfälle überbrücken können.

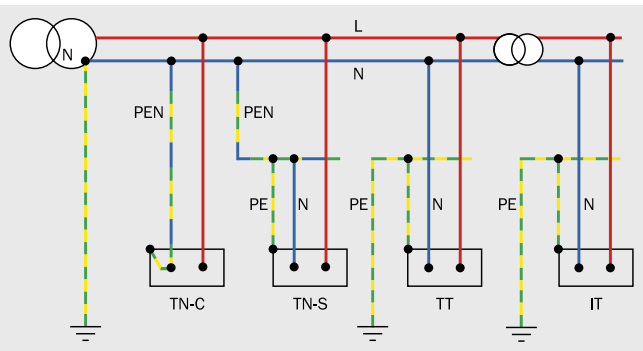
Erdungssystem
Das Erdungssystem charakterisiert sowohl die Art der Verbindung der Sekundärseite des einspeisenden Transformators mit der Erde als auch die Art der Erdung der Körper der elektrischen Ausrüstung. Drei Erdungssysteme sind international standardisiert:

- TN-System
- TT-System
- IT-System

Die Erdung ist eine elektrisch leitfähige Verbindung mit dem Erd-boden. Es wird unterschieden zwischen Schutzerdungen PE, die der elektrischen Sicherheit dienen, und Funktionserdungen FE, die anderen Zwecken dienen. Das Schutzleitersystem besteht aus Erdern, Anschlussleitungen und entsprechenden Klemmen. Alle Körper der elektrischen Ausrüstung der Netzversorgung müssen für einen Schutzpotenzialausgleich mit dem Schutzleitersystem verbunden sein. Der Schutzpotenzialausgleich ist eine grundlegende Vorsorge für den Schutz im Fehlerfall.







8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

TN-System
Das TN-System stellt die häufigste Netzform in Niederspannungsanlagen dar. Im TN-System ist der Sternpunkt des Transformators direkt geerdet (Betriebserde); die Körper der angeschlossenen Betriebsmittel sind über den Schutzleiter (PE) mit dem Sternpunkt des Transformators verbunden.
Je nach verlegtem Leiterquerschnitt werden PE und N-Leiter als gemeinsamer Leiter (TN-C-System) oder als zwei eigenständige Leiter (TN-S-System) verlegt.

TT-System
In einem TT-System ist der Sternpunkt des einspeisenden Transformators wie in einem TN-System geerdet. Der an die elektrisch leitfähigen Gehäuse der Betriebsmittel angeschlossene Schutzleiter wird nicht bis an diesen Sternpunkt geführt, sondern separat geerdet. Die Körper der Betriebsmittel dürfen auch über einen gemeinsamen Schutzerder geerdet sein.
TT-Systeme werden üblicherweise nur in Verbindung mit FI-Schutzschaltern verwendet.
Der Vorteil des TT-Systems besteht in der größeren Zuverlässigkeit bei langen Überlandstrecken.

IT-System
Die leitfähigen Gehäuse der Betriebsmittel sind in einem IT-System wie in einem TT-System geerdet, der Sternpunkt des einspeisenden Transformators jedoch nicht. Anlagen, bei denen das Abschalten eine gewisse Gefahr beinhaltet und die deshalb beim Auftreten von nur einem Körperschluss oder Erdschluss noch nicht abschalten sollen, werden als IT-System ausgeführt.
Im Niederspannungsbereich sind IT-Systeme zum Beispiel zur Versorgung von Operationssälen und Intensivstationen in Krankenhäusern vorgeschrieben.

→ Schutzmaßnahmen: IEC 60364-4-41, mit national unterschiedlichen Anpassungen

Netztrenneinrichtung

Für jeden Netzanschluss zu einer oder mehreren Maschinen muss eine Netztrenneinrichtung vorgesehen werden. Sie soll die elektrische Ausrüstung von der Netzversorgung trennen können:

- Lasttrennschalter für Gebrauchskategorie AC-23B oder DC-23B
- Trennschalter mit Hilfskontakt zum voreilenden Abwerfen der Last
- Leistungsschalter
- Stecker/Steckdosenkombination bis 16 A/3 kW

Bestimmte Stromkreise, wie Steuerstromkreise für Verriegelungen, müssen von der Trenneinrichtung nicht abgeschaltet werden. In diesem Fall müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, um die Sicherheit des Bedienpersonals zu gewährleisten.

Ausschalteinrichtung zur Verhinderung von unerwartetem Anlauf

Während Instandhaltungsarbeiten darf ein Anlauf der Maschine oder wiederkehrende Energie keine Gefährdung der Instandhalter hervorrufen. Daher müssen Mittel vorgesehen werden, ein unbeabsichtigtes und/oder irrtümliches Schließen der Netztrenneinrichtung zu verhindern. Dies kann beispielsweise durch Einhängen eines Bügelschlosses in die Handhabe eines Hauptschalters in der Stellung Aus erfolgen.

Diese Ausschalteinrichtung ist nicht als Schutzmaßnahme für kurze, betriebsbedingte Eingriffe in den Gefahrbereich geeignet.

Schutz gegen elektrischen Schlag

Schutzklassen

Die Einteilung in verschiedene Schutzklassen sagt aus, mit welchen Mitteln eine Ein-Fehler-Sicherheit erreicht wird. Eine Aussage über die Höhe des Schutzes ergibt sich aus dieser Einteilung nicht.

	Schutzklasse I Alle Geräte mit einfacher Isolierung (Basisisolierung) und einem Schutzleiteranschluss fallen unter die Schutzklasse I. Der Schutzleiter muss an der mit dem Symbol oder PE gekennzeichneten Klemme angeschlossen werden und grün-gelb sein.
	Schutzklasse II Betriebsmittel mit Schutzklasse II haben eine verstärkte oder doppelte Isolierung und haben keinen Anschluss an den Schutzleiter. Diese Schutzmaßnahme wird auch Schutzisolierung genannt. Ein Schutzleiter darf nicht angeschlossen werden.
	Schutzklasse III Betriebsmittel der Schutzklasse III arbeiten mit Schutzkleinspannung und benötigen daher keinen expliziten Schutz.

Schutzkleinspannung SELV/PELV

Als Schutzkleinspannung, korrekt: Sicherheitskleinspannung, sind Wechselspannungen bis 50 Volt Effektivwert (Vrms) und Gleichspannungen bis 120 Volt zulässig. Dabei sind oberhalb einer Grenze von 75 Volt Gleichspannung zusätzlich die Anforderungen der Niederspannungsrichtlinie zu beachten.
Bei Anwendung in üblicherweise trockenen Räumen kann auf einen Schutz gegen direktes Berühren (Basisschutz) verzichtet werden, wenn der Effektivwert der Wechselspannung 25 Volt oder die oberschwingungsfreie Gleichspannung 60 Volt nicht überschreitet. Oberschwingungsfreiheit ist gegeben bei Überlagerung der Gleichspannung mit einem sinusförmigen Wechselspannungsanteil von höchstens 10 % effektiv.
Der Schutzkleinspannungskreis muss sicher von anderen Stromkreisen getrennt werden (ausreichende Luft- und Kriechstrecken, Isolierung, Verbindung von Stromkreisen mit dem Schutzleiter usw.).
Man unterscheidet zwischen:

- SELV (safety extra-low voltage)
- PELV (protective extra-low voltage)

Schutzkleinspannung darf nicht aus dem Netz durch Spartransformatoren, Spannungsteiler oder durch Vorwiderstände erzeugt werden.

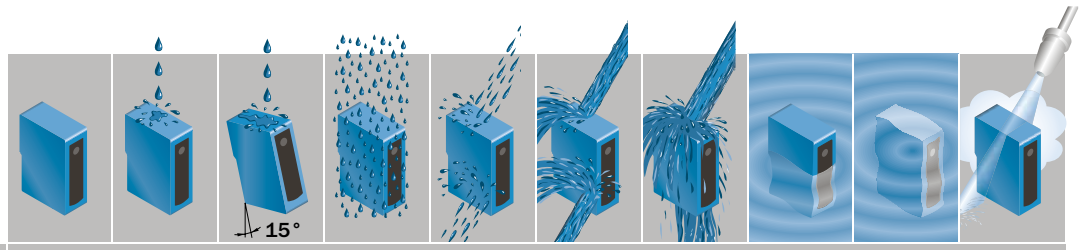
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

		ELV (AC < 50 V_{rms}, DC < 120 V)	
		SELV	**PELV**
Art der Trennung	Stromquellen	Stromquellen mit sicherer Trennung, z. B. ein Sicherheitstransformator oder gleichwertige Stromquellen	
	Stromkreise	• Stromkreise mit sicherer Trennung zu anderen Nicht-SELV- bzw. Nicht-PELV-Stromkreisen • Stromkreise mit Basisisolierung zwischen SELV- und PELV-Stromkreisen	
Beziehung zur Erde oder zu einem Schutzleiter	Stromkreise	Ungeerdete Stromkreise	Geerdete oder ungeerdete Stromkreise
	Gehäuse	Gehäuse dürfen nicht absichtlich geerdet und auch nicht mit einem Schutzleiter verbunden sein.	Gehäuse dürfen geerdet oder mit einem Schutzleiter verbunden sein.
Zusatzmaßnahmen	Nennspannung: • AC > 25 V oder • DC > 60 V oder • Betriebsmittel im Wasser	Basisschutz durch normgerechte Isolierung oder Umhüllungen	
	Nennspannung bei normaler trockener Umgebung: • AC ≤ 25 V oder • DC ≤ 60 V	Keine Zusatzmaßnahmen erforderlich	Basisschutz durch: • normgerechte Isolierung oder Umhüllungen oder • Verbindung von Körper und aktiven Teilen mit Haupterdungsschiene

→ Schutzklassen: EN 50178
→ Sicherheit von Transformatoren: EN-61558-Reihe

Schutzmaßnahmen/Schutzarten

Die Schutzarten beschreiben den Schutz eines Betriebsmittels gegen das Eindringen von Wasser (kein Wasserdampf) und Fremdteilen (Staub). Zusätzlich beschreiben sie den Schutz gegen direktes Berühren von spannungsführenden Teilen. Dieser Schutz ist grundsätzlich immer erforderlich, auch bei Kleinspannungen. Alle nach dem Trennen unter Spannung bleibenden, berührbaren Teile müssen mindestens mit Schutzart IP 2x, Schaltschränke mindestens mit der Schutzart IP 54 ausgeführt werden.



1. Kennziffer: Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern		**2. Kennziffer:** Schutz gegen Eindringen von Wasser (kein Wasserdampf, keine anderen Flüssigkeiten!)									
		IP ...0	**IP ...1**	**IP ...2**	**IP ...3**	**IP ...4**	**IP ...5**	**IP ...6**	**IP ...7**	**IP ...8**	**IP ...9K**
		Kein Schutz	Tropfwasser senkrecht	Tropfwasser schräg	Sprühwasser	Spritzwasser	Strahlwasser	Strahlwasser, stark	Untertauchen zeitweilig	Untertauchen dauernd	100 bar, 16 l/min., 80 °C
IP 0... Kein Schutz		IP 00									
IP 1... Größe des Fremdkörpers ≥ 50 mm Ø		IP 10	IP 11	IP 12							
IP 2... Größe des Fremdkörpers ≥ 12 mm Ø		IP 20	IP 21	IP 22	IP 23						
IP 3... Größe des Fremdkörpers ≥ 2,5 mm Ø		IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34					
IP 4... Größe des Fremdkörpers ≥ 1 mm Ø		IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44					
IP 5... Staubgeschützt		IP 50			IP 53	IP 54	IP 55	IP 56			
IP 6... Staubdicht		IP 60					IP 65	IP 66	IP 67		IP 69K

➜ Schutzarten durch Gehäuse: EN 60529

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Stillsetzen

Neben dem betriebsmäßigen Stillsetzen muss eine Maschine im Notfall aus Sicherheitsgründen angehalten werden können.

Anforderungen

- Jede Maschine muss mit einer Befehlseinrichtung zum betriebsmäßigen Stillsetzen der gesamten Maschine ausgerüstet sein.
- Es muss zumindest eine Stopp-Funktion der Kategorie 0 vorhanden sein. Zusätzliche Stopp-Funktionen der Kategorie 1 und/oder 2 können aus sicherheits- und funktionstechnischen Erfordernissen der Maschine notwendig sein.
- Ein Befehl zum Stillsetzen der Maschine muss den Befehlen zum Ingangsetzen übergeordnet sein. Wenn die Maschine oder ihre Gefahr bringenden Teile stillgesetzt wurden, muss die Energieversorgung des Antriebs unterbrochen werden.

Stopp-Kategorien

Sicherheits- und funktionstechnische Erfordernisse von Maschinen führen zu Stopp-Funktionen in unterschiedlichen Kategorien. Stopp-Kategorien sind nicht zu verwechseln mit den Kategorien gemäß ISO 13849-1.

Stopp-Kategorie 0	Energiezufuhr zu den Antriebselementen wird getrennt (ungesteuertes Stillsetzen)
Stopp-Kategorie 1	Maschine wird in einen sicheren Zustand versetzt, dann erst wird die Energiezufuhr zu den Antriebselementen getrennt
Stopp-Kategorie 2	Maschine wird in einen sicheren Zustand versetzt, die Energiezufuhr zu den Antriebselementen aber nicht getrennt

→ Siehe auch Abschnitt „Stillsetzen im Notfall“ → 3-7

→ Stopp-Kategorien, siehe „Elektrische Ausrüstung von Maschinen: IEC 60204-1“

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Die europäische EMV-Richtlinie definiert elektromagnetische Verträglichkeit als „die Fähigkeit eines Gerätes bzw. einer Anlage, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in der Umwelt vorhandenen Geräte bzw. Anlagen unannehmbar wären“.
Die Maschine und die eingesetzten Komponenten müssen so gewählt und verifiziert werden, dass sie den zu erwartenden Störungen standhalten. Für Sicherheitskomponenten gelten erhöhte Anforderungen.
Elektromagnetische Störungen können hervorgerufen werden durch:

- schnelle, transiente, elektrische Störgrößen (Burst)
- Stoßspannungen (Surge), z. B. hervorgerufen durch Blitzeinschläge ins Netz
- elektromagnetische Felder
- hochfrequente Störungen (benachbarter Leitungen)
- elektrostatische Entladung (ESD)

Es gibt Störgrenzen für den Industriebereich und für den Wohnbereich. Im Industriebereich gelten höhere Anforderungen für die Störanfälligkeit, aber es werden auch höhere Störaussendungsgrenzen erlaubt. Daher können Komponenten, die die Funkschutzbestimmungen für den industriellen Bereich erfüllen, beim Einsatz im Wohnbereich Funkstörungen verursachen. Die folgende Tabelle zeigt exemplarisch Mindeststörfeldstärken verschiedener Anwendungsgebiete.
Typische Mindeststörfeldstärken im Frequenzbereich von 900 bis 2000 MHz

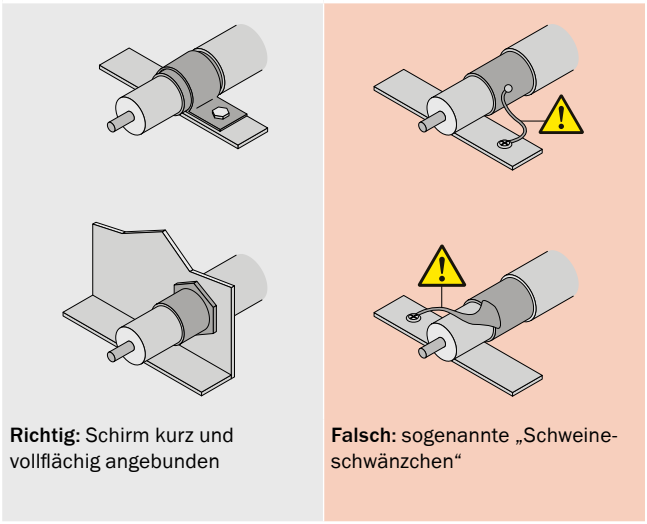
Anwendungsgebiet	Verträgliche Mindeststörfeldstärke
Unterhaltungselektronik	3 V/m
Haushaltselektrogeräte	3 V/m
Geräte der Informationselektronik	3 V/m
Medizinische Geräte	3 ... 30 V/m
Industrieelektronik	10 V/m
Sicherheitskomponenten	10 ... 30 V/m
Fahrzeugelektronik	Bis 100 V/m

Beispiel: Typische Abstände von Mobilfunkanlagen zur Erreichung verschiedener Störfeldstärken				
Anwendungsgebiet	**3 V/m**	**10 V/m**	**100 V/m**	**Anmerkung**
DECT-Station	Ca. 1,5 m	Ca. 0,4 m	≤ 1 cm	Basisstation oder Mobilteil
GSM-Mobiltelefon	Ca. 3 m	Ca. 1 m	≤ 1 cm	Maximale Sendeleistung (900 MHz)
GSM-Basisstation	Ca. 1,5 m	Ca. 1,5 m	Ca. 1,5 m	Bei einer Sendeleistung von ca. 10 Watt

Folgende Design-Grundregeln helfen, EMV-Probleme zu vermeiden:

- durchgängiger Potenzialausgleich durch leitende Verbindung zwischen Maschinen- und Anlagenteilen
- räumliche Trennung vom Versorgungsteil (Netzversorgung, Aktorik, Umrichter)
- keinen Potenzialausgleichstrom über den Schirm führen
- Schirme kurz und vollflächig auflegen
- vorhandene Funktionserde (FE) anschließen
- vorhandene Kommunikationsleitungen sauber abschließen. Zur Übertragung von Daten (Feldbus) sind häufig verdrillte Leitungen erforderlich.

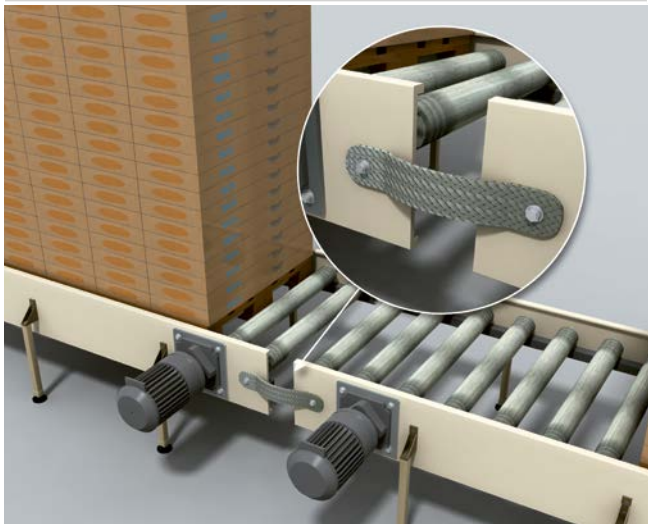
Beispiel: Schirmung korrekt anbinden



Richtig: Schirm kurz und vollflächig angebunden

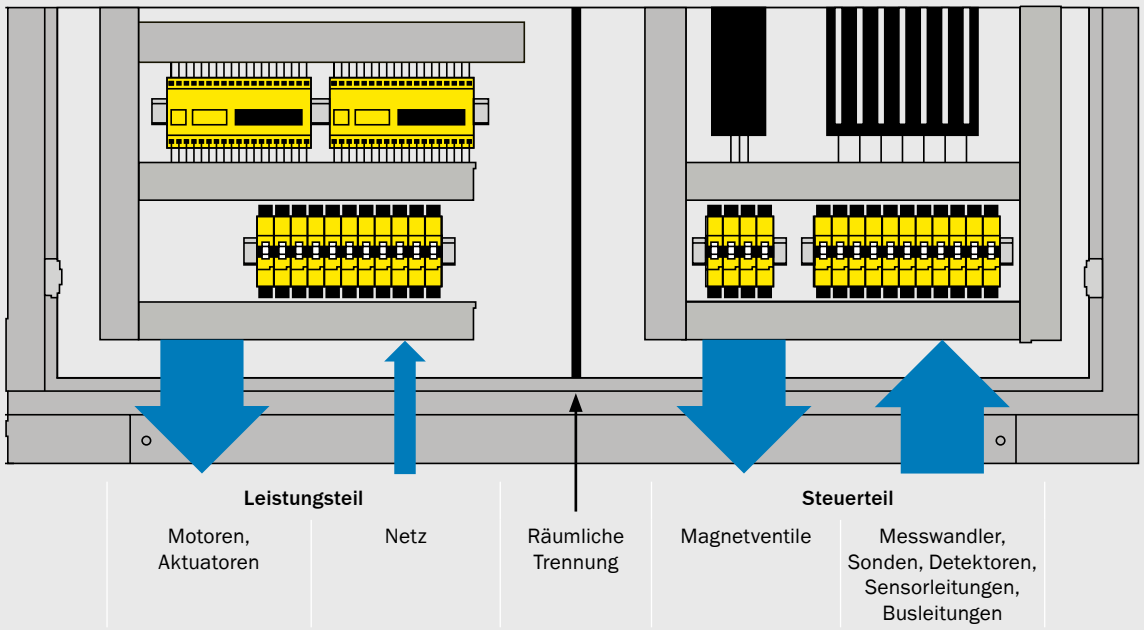
Falsch: sogenannte „Schweineschwänzchen“

Beispiel: Potenzialausgleich herstellen



8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Beispiel: Räumliche Trennung



→ EMV-Normen: EN 61000-1 bis -4
→ EMV-Anforderungen an Sicherheitskomponenten: IEC 61496-1, IEC 62061

Fluidtechnik

Fluidtechnik ist ein Oberbegriff für alle Verfahren, bei denen Energie durch Gase oder Flüssigkeiten übertragen wird. Der übergeordnete Begriff wird verwendet, weil Flüssigkeiten und Gase ein ähnliches Verhalten haben. Die Fluidtechnik beschreibt Verfahren und Anlagen zur Kraftübertragung mittels Fluiden in geschlossenen Leitungssystemen.

Teilsysteme

Jede fluidtechnische Anlage besteht aus den Teilsystemen:

- Verdichten: Kompressor bzw. Pumpe
- Aufbereiten: Filter
- Fördern: Verrohrung bzw. Verschlauchung
- Steuern: Ventil
- Antreiben: Zylinder

Druck stellt sich in jedem fluidtechnischen System durch das Fördern des Fluids gegen Lasten ein. Wächst die Last, steigt auch der Druck.

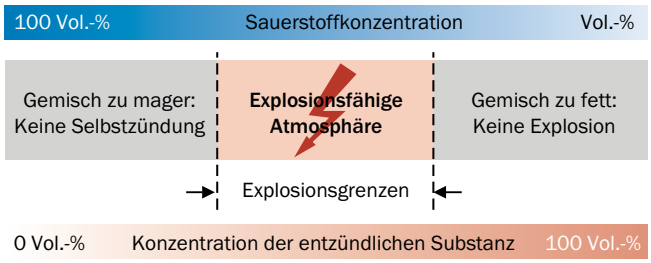
Technisch angewendet wird die Fluidtechnik in der Hydraulik (Energieübertragung durch Hydrauliköle) und in der Pneumatik (Übertragung durch Druckluft). Die Ölhydraulik benötigt einen Kreislauf des Fluids (Hin- und Rücklauf), während in der Pneumatik die Abluft über Schalldämpfer in die Umgebung abgeblasen wird.

Gestaltungsprinzipien

Alle Teile eines fluidtechnischen Systems sind gegen Drücke zu schützen, die den maximalen Arbeitsdruck eines Teilsystems oder den Nenndruck einer Komponente überschreiten. Durch Leckage innerhalb einer Komponente oder in der Verrohrung bzw. Verschlauchung darf keine Gefahr verursacht werden. Schalldämpfer sollen verwendet werden, um den durch entweichende Luft verursachten Schallpegel zu reduzieren. Der Gebrauch von Schalldämpfern darf keine zusätzliche Gefährdung schaffen, Schalldämpfer dürfen keinen schädlichen Gegendruck verursachen.

Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen

Der Explosionsschutz zählt zu den besonders sicherheitsrelevanten Aufgabenbereichen. Im Explosionsfall sind Personen gefährdet, z. B durch unkontrollierte Hitzestrahlung, Flammen, Druckwellen und umherfliegende Trümmer sowie durch schädliche Reaktionsprodukte und durch den Verbrauch des zum Atmen benötigten Sauerstoffs aus der Umgebungsluft. Explosionen und Brände gehören nicht zu den häufigsten Ursachen von Arbeitsunfällen. Ihre Folgen sind aber spektakulär und häufig mit schweren Verlusten an Menschenleben sowie großen wirtschaftlichen Schäden verbunden.
Wo Stäube, brennbare Gase oder Flüssigkeiten hergestellt, transportiert, verarbeitet oder gelagert werden, kann eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen, d. h. ein Gemisch von Brennstoff und Luftsauerstoff innerhalb der Explosionsgrenzen. Wenn auch eine Zündquelle vorhanden ist, dann kommt es zur Explosion.



Beurteilung des Umfangs der erforderlichen Schutzmaßnahmen

Für eine Beurteilung des Umfangs der erforderlichen Schutzmaßnahmen sind explosionsgefährdete Bereiche nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre in Zonen unterteilt, siehe Richtlinie 1992/92/EG, Anhang I.

Die Angaben in der folgenden Tabelle gelten nicht für den Bergbau (Übertage, Untertage).

Zonendefinition				
Für Gase	**G**	Zone 2	Zone 1	Zone 0
Für Stäube	**D**	Zone 22	Zone 21	Zone 20
Explosionsfähige Atmosphäre		Selten, kurzzeitig (< 10/Jahr)	Gelegentlich (10 -- 100 h/Jahr)	Ständig, häufig, langzeitig (> 1000 h/Jahr)
Sicherheitsmaßnahme		Normal	Hoch	Sehr hoch
Einsetzbare Gerätekategorie (ATEX)				
1		II 1G/II 1D		
2		II 2G/II 2D		
3		II 3G/II 3D		

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Kennzeichnung

Betriebsmittel müssen für den Einsatz in diesen Zonen ausgelegt, geprüft und entsprechend gekennzeichnet sein.

	II	2G	Ex ia	IIC	T4	**Beispiel: Kennzeichnung eines Ex-Betriebsmittels gemäß ATEX**
						Temperaturklasse Einsetzbar bei Zündtemperatur > 135 °C
						Explosionsgruppe Acetylen, Schwefelkohlenstoff, Wasserstoff
						Schutzprinzip i = eigensicher a = zwei-Fehler-sicher
						Gerätekategorie (ATEX) Einsetzbar in Zone 1
						Gerätegruppe Einsatz nicht in schlagwettergefährdeten Bereichen
						Explosionsschutz-Kennzeichen

→ ATEX-Richtlinie: 1994/9/EG (gültig bis 19.04.2016), 2014/34/EU (gültig ab 20.04.2016)
→ Normen: EN 1127-1, EN 60079-0

Zusammenfassung: Sicheres Gestalten

Mechanik, Elektrik, Bedienung

- Halten Sie sich an den Grundsatz, Gefährdungen erst gar nicht entstehen zu lassen.
- Konstruieren Sie so, dass sich das Bedienpersonal so wenig wie möglich dem Gefahrbereich aussetzen muss.
- Vermeiden Sie Gefahren, die sich direkt durch elektrischen Strom ergeben (direktes und indirektes Berühren) oder die indirekt durch Fehler in der Steuerung entstehen.

Handlungen im Notfall, Stillsetzen

- Planen Sie eine Befehlseinrichtung zum betriebsmäßigen Stillsetzen der gesamten Maschine ein.
- Verwenden Sie Not-Halt, um einen Gefahr bringenden Prozess oder eine Gefahr bringende Bewegung stillzusetzen.
- Verwenden Sie Not-Aus, wenn Energiequellen, von denen eine Gefährdung ausgeht, sicher getrennt werden müssen.

EMV

- Konstruieren Sie Maschinen, die die gültigen EMV-Anforderungen erfüllen. Die eingesetzten Komponenten müssen so gewählt und verifiziert werden, dass ...
  - sie keine elektromagnetischen Störungen verursachen, die andere Geräte bzw. Anlagen stören.
  - sie ihrerseits den zu erwartenden Störungen standhalten.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Schritt 3: Technische Schutzmaßnahmen

Technische Schutzmaßnahmen werden realisiert durch

- Schutzeinrichtungen, die Teil einer Sicherheitsfunktion sind, z. B. Abdeckungen, Schutztüren, Lichtvorhänge, Zweihandeinrichtungen,
- Überwachungs- und Begrenzungseinrichtungen (auf Position, Geschwindigkeit etc.) oder
- Maßnahmen zur Verringerung von Emissionen.

Nicht alle Schutzeinrichtungen werden in die Steuerung der Maschine eingebunden. Beispiel hierfür ist eine feste trennende Schutzeinrichtung (Barrieren, Abdeckungen). Mit der korrekten Gestaltung dieser Schutzeinrichtungen werden die Sicherheitsanforderungen erreicht.

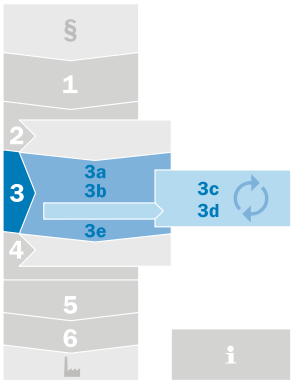
Funktionale Sicherheit

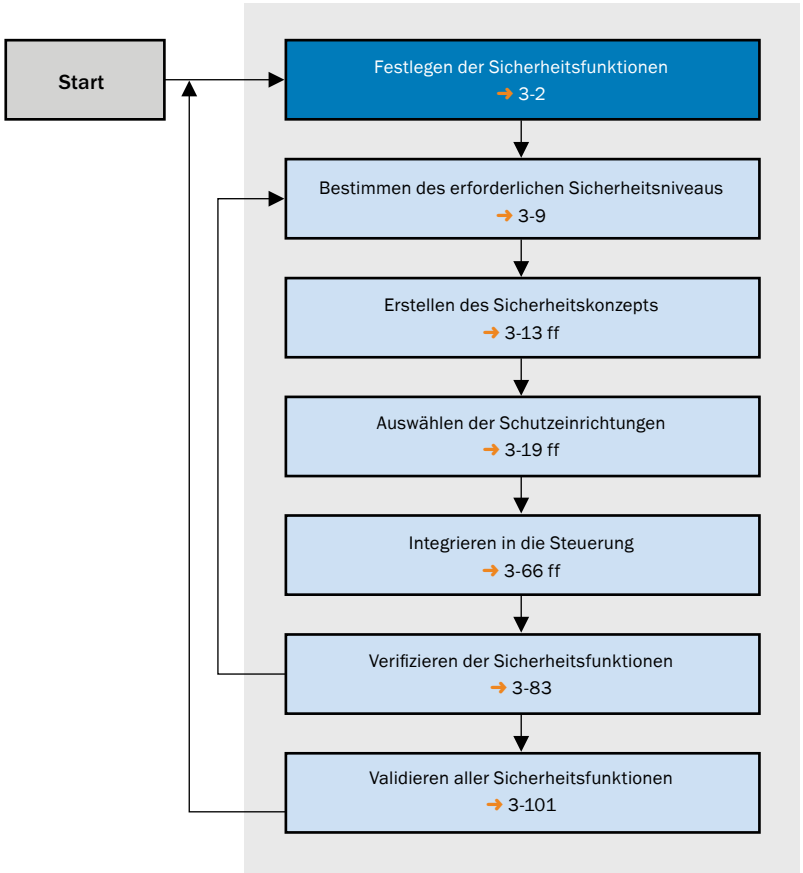
Wo die Wirkung einer Schutzmaßnahme von der korrekten Funktion einer Steuerung abhängt, spricht man von funktionaler Sicherheit. Für die Realisierung der funktionalen Sicherheit müssen Sicherheitsfunktionen definiert, muss das erforderliche Sicherheitsniveau festgelegt und dann mit den richtigen Komponenten umgesetzt und verifiziert werden.

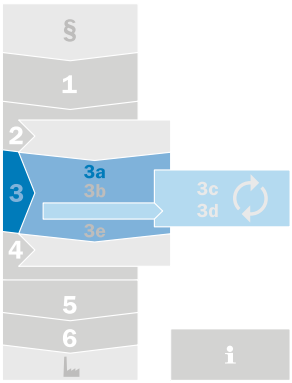
Validierung

Die Validierung aller technischen Schutzmaßnahmen stellt sicher, dass die richtigen Sicherheitsfunktionen zuverlässig wirken.

Die Ausgestaltung von Schutzmaßnahmen und Sicherheitsfunktionen sowie die Methodik zur steuerungstechnischen Umsetzung bilden den Inhalt der nächsten Kapitel (Teilschritte 3a bis 3e).







3 a

In diesem Kapitel ...

Zugang bzw. Zugriff dauerhaft verhindern 3-2
Zugang zeitweise verhindern. 3-2
Teile, Stoffe, Strahlungen zurückhalten 3-3
Stopp auslösen. 3-3
Unerwarteten Anlauf vermeiden . . . 3-4
Start verhindern 3-4
Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern 3-4
Materialdurchfahrt ermöglichen . . . 3-5
Maschinenparameter überwachen 3-5
Sicherheitsfunktionen manuell und zeitlich begrenzt aufheben . . . 3-6
Sicherheitsfunktionen kombinieren oder wechseln 3-6
Stillsetzen im Notfall 3-7
Sicherheitsrelevante Anzeigen und Alarme 3-7
Weitere Funktionen 3-8
Zusammenfassung. 3-8

Schritt 3a: Festlegen der Sicherheitsfunktionen

Die Sicherheitsfunktionen definieren, wie das Risiko durch sicherheitstechnische Maßnahmen gemindert werden soll. Für jede Gefährdung, die konstruktiv nicht beseitigt wurde, ist je eine Sicherheitsfunktion zu definieren. Diese genaue Definition ist notwendig, um die erforderliche Sicherheit mit angemessenem Aufwand zu erzielen. Aus der Definition der Sicherheitsfunktionen leitet sich die dafür notwendige Art und Anzahl der Komponenten ab.

➜ Beispiele für die Definition von Sicherheitsfunktionen: BGIA-Report 2/2008, „Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen“

Zugang bzw. Zugriff dauerhaft verhindern

Der Zugang zu einer Gefahrstelle wird durch mechanische Abdeckungen, Barrieren oder Hindernisse, sogenannte trennende Schutzeinrichtungen, verhindert.

Beispiele:

- Verhinderung des direkten Erreichens von Gefahrstellen durch Abdeckungen
- Distanzierende Schutzeinrichtungen (z. B. Tunnel), die das Erreichen der Gefahrstellen verhindern und den Durchgang von Materialien oder Waren erlauben (siehe Abbildung)
- Verhinderung des Ganzkörperzugangs zu Gefahrbereichen durch trennende Schutzeinrichtungen

Zugang zeitweise verhindern

Der Zugang zu einer Gefahrstelle wird so lange verhindert, bis sich die Maschine in einem sicheren Zustand befindet.

Beispiele:

- Auf Anforderung wird ein Betriebsstopp eingeleitet. Wenn die Maschine den sicheren Zustand erreicht, wird die durch die Sicherheitszuhaltung ausgeführte Blockierung des Zugangs aufgehoben.

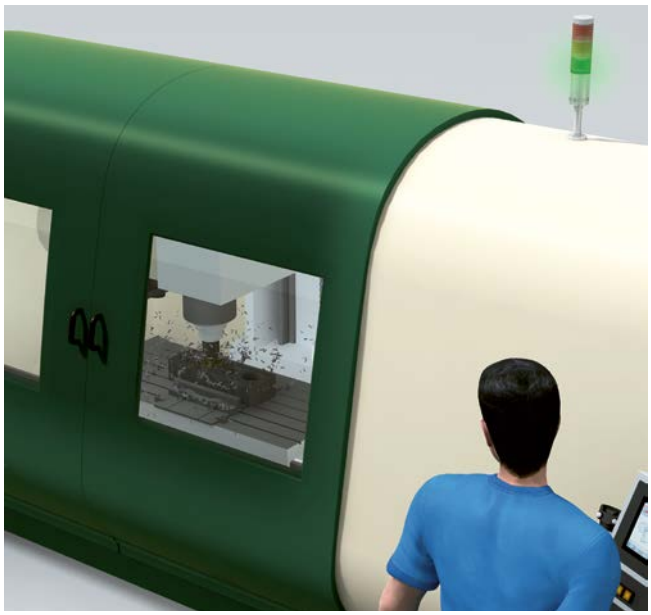
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Teile, Stoffe, Strahlungen zurückhalten

Wenn aus Maschinen Teile herausgeschleudert werden können oder Strahlungen auftreten, müssen mechanische Schutzeinrichtungen verwendet werden (trennende Schutzeinrichtungen), um die hierbei auftretenden Gefährdungen zu vermeiden.

Beispiele:

- Schutzhaube mit speziellem Sichtfenster an einer Fräsmaschine zum Schutz vor herausfliegenden Spänen und Werkzeugteilen (siehe Abbildung)
- Zaun, der einen Roboterarm zurückhalten kann

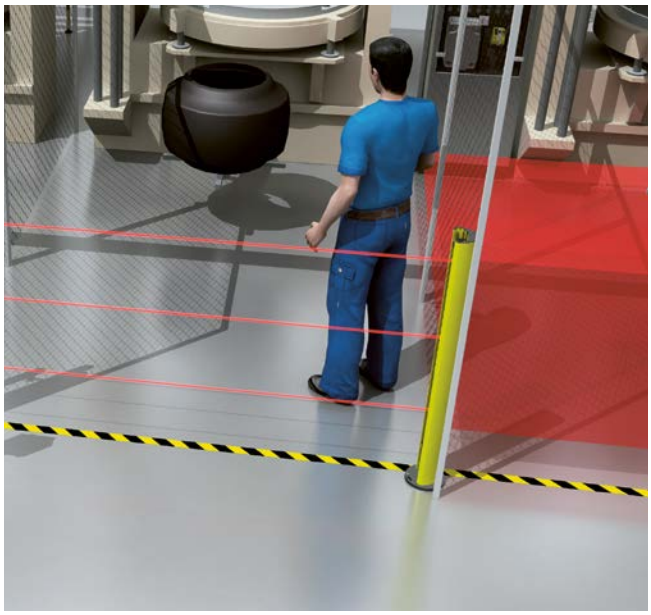


Stopp auslösen

Eine sicherheitsbezogene Stopp-Funktion bringt bei Anforderung (z. B. Annäherung einer Person) die Maschine in den sicheren Zustand. Um die Stoppzeit zu verringern, kann es sinnvoll sein, diese Stopp-Funktion gemäß der Stopp-Kategorie 1 (IEC 60204-1 ➜ 2-9) auszuführen. Ggf. sind zusätzliche Sicherheitsfunktionen notwendig, um einen unerwarteten Wiederanlauf zu verhindern.

Beispiele:

- Öffnen einer Schutztür mit Verriegelungseinrichtung ohne Zuhaltung
- Unterbrechung der Lichtstrahlen der zugangsabsichernden Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranke (siehe Abbildung)

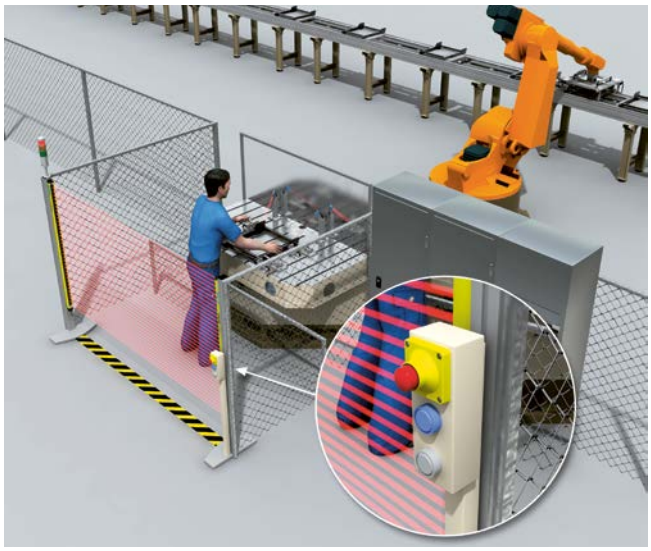


Unerwarteten Anlauf vermeiden

Nach dem Auslösen der Funktion „Stopp auslösen“ oder dem Einschalten der Maschine sind bewusste Aktionen notwendig, um die Maschine in Gang zu setzen. Hierzu zählt das manuelle Rücksetzen einer Schutzeinrichtung zum Vorbereiten des Wiederanlaufs der Maschine (siehe auch Abschnitt „Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf“ ➜ 3-65).

Beispiele:

- Rücksetzen einer Lichtschranke (siehe Abbildung: blaue Taste „Reset“)
- Rückstellen der Not-Halt-Einrichtung
- Wiederanlauf der Maschine, wenn alle notwendigen Sicherheitseinrichtungen wirksam sind



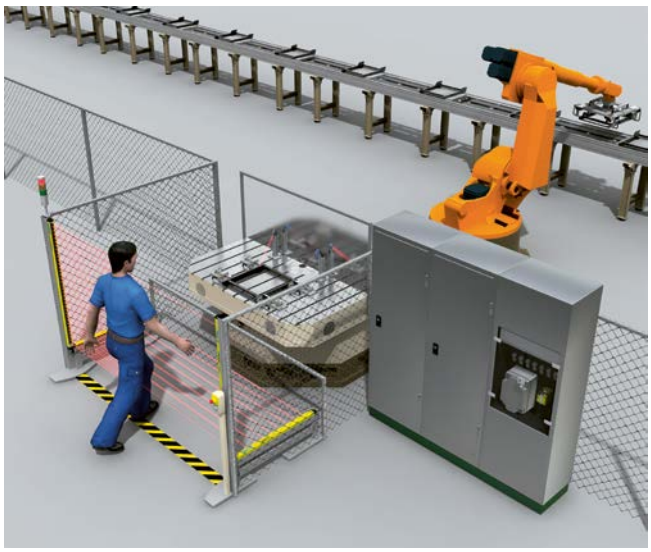
3 a

Start verhindern

Nach der Funktion „Stopp auslösen“ wird ein Start oder Wiederingangsetzen durch technische Maßnahmen verhindert, solange sich Personen im Gefahrbereich befinden.

Beispiele:

- Schlüsseltransfersysteme
- Erfassung im aktiven Schutzfeld eines horizontal angeordneten Sicherheits-Lichtvorhangs (siehe Abbildung). Die Funktion „Stopp auslösen“ wird durch das vertikale Schutzfeld des Sicherheits-Lichtvorhangs realisiert.

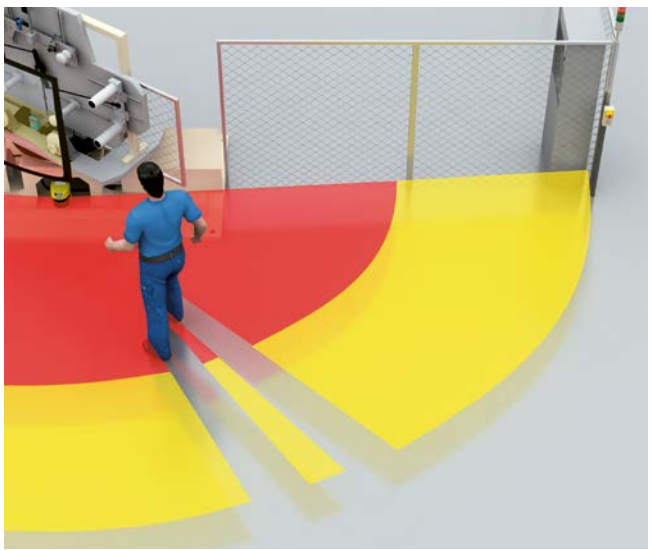


Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern

Mit derselben Schutzeinrichtung, die den Stopp auslöst, wird ein erneuter Start verhindert, solange sich Personen oder Körperteile im Gefahrbereich befinden.

Beispiele:

- eine Zweihandeinrichtung bei 1-Personen-Arbeitsplätzen
- Nutzung eines Lichtvorhangs, sodass Hintertreten oder Umgreifen nicht möglich ist (Gefahrstellenabsicherung)
- Anwendung eines bereichsabsichernden Sicherheits-Laserscanners (siehe Abbildung)



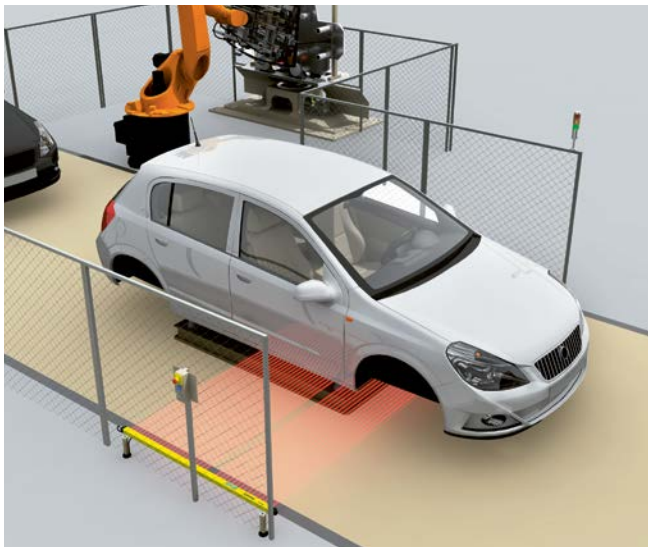
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Materialdurchfahrt ermöglichen

Um Materialien in oder aus Gefahrbereichen zu fördern, werden spezifische Merkmale der zugeführten Materialien zur Materialerkennung oder zur automatischen Unterscheidung zwischen Material und Personen benutzt. Beim Materialtransport spricht die Schutzeinrichtung dann nicht an, Personen werden jedoch erkannt.

Beispiele:

- Durch geeignete Auswahl und Positionierung von Sensoren wird das Material erkannt und es erfolgt eine zeitbegrenzte Aufhebung der Sicherheitsfunktion (**Muting**) während der Durchfahrt des Materials.
- horizontale Lichtvorhänge mit integriertem Algorithmus zur **Mensch-Material-Unterscheidung** (siehe Abbildung)
- Schutzfeldumschaltung eines Sicherheits-Laserscanners



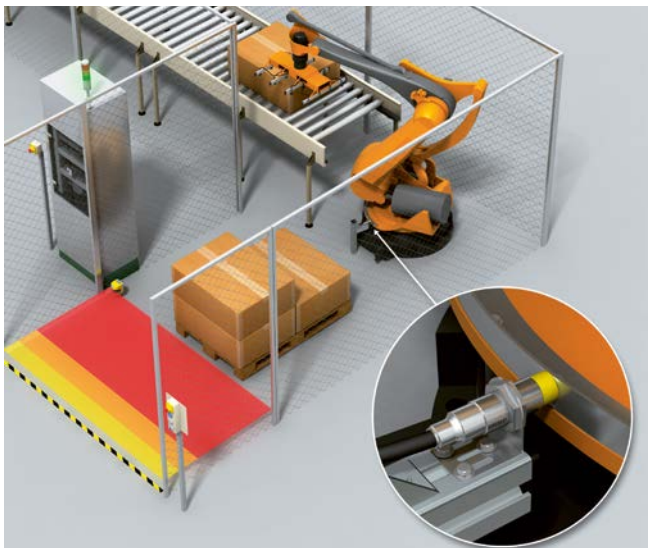
➜ Ausführliche Erläuterungen siehe Abschnitt „In BWS integrierbare Sicherheitsfunktionen“ ➜ 3-38.

Maschinenparameter überwachen

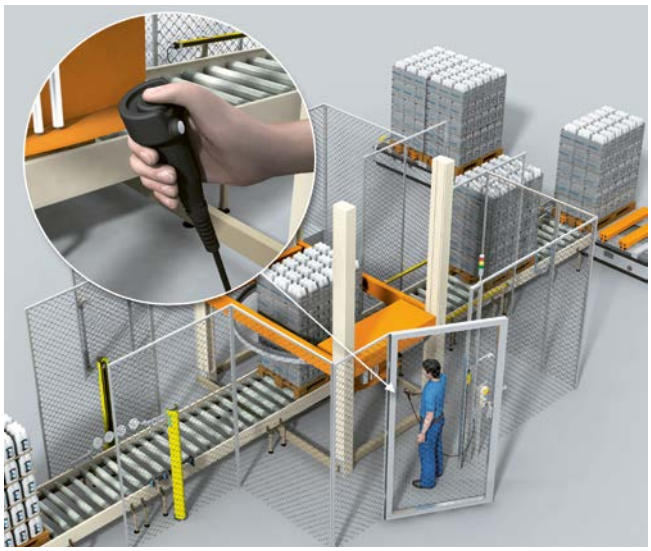
In manchen Anwendungen ist es erforderlich, verschiedene Parameter der Maschine auf sicherheitsbezogene Grenzen zu überwachen. Bei Überschreiten eines Grenzwerts werden geeignete Maßnahmen eingeleitet (z. B. Stopp, Warnsignal).

Beispiele:

- Überwachung von Geschwindigkeit, Temperatur oder Druck
- Positionsüberwachung (siehe Abbildung)



Sicherheitsfunktionen manuell und zeitlich begrenzt aufheben



Ist bei Einrichtarbeiten oder zur Prozessbeobachtung ein Betrieb der Maschine bei aufgehobener Schutzwirkung der Schutzeinrichtungen erforderlich, ist dies nur unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- durch einen Betriebsartenwahlschalter mit entsprechender Betriebsstellung
- Automatiksteuerung gesperrt, keine Maschinenbewegungen aufgrund direkter oder indirekter Einwirkung auf Sensoren
- Es dürfen keine Befehlsverkettungen möglich sein.
- gefährliche Maschinenfunktionen nur möglich bei kontinuierlicher Betätigung von Befehlseinrichtungen (z. B. Zustimmtaster)
- gefährliche Maschinenfunktionen nur bei vermindertem Risiko (z. B. Begrenzung von Geschwindigkeit, Bewegungsweg, Funktionsdauer)

Beispiele:

- Bewegung nur bei betägtigtem Zustimmtaster mit reduzierter Geschwindigkeit

3 a

Sicherheitsfunktionen kombinieren oder wechseln

Eine Maschine kann verschiedene Zustände einnehmen oder in verschiedenen Betriebsarten arbeiten. Hierbei können unterschiedliche Sicherheitsmaßnahmen wirken oder verschiedene Sicherheitsfunktionen miteinander gekoppelt sein. Dabei muss sichergestellt sein, dass immer das notwendige Sicherheitsniveau erreicht wird. Eine Umschaltung von Betriebsarten oder die Auswahl und Anpassung verschiedener Sicherheitsmaßnahmen darf nicht zu einem Gefahr bringenden Zustand führen.

Beispiele:

- Nach einem Betriebsartenwechsel zwischen Einricht- und Normalbetrieb wird die Maschine angehalten. Ein erneuter manueller Startbefehl ist erforderlich.
- Anpassung des Überwachungsbereichs eines Laserscanners an die Geschwindigkeit des Fahrzeugs (siehe Abbildung)

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Stillsetzen im Notfall

Stillsetzen im Notfall (Not-Halt) ist eine ergänzende Schutzmaßnahme und kein primäres Mittel zur Risikominderung. Abhängig von der Risikobeurteilung der Maschine ist das erforderliche Sicherheitsniveau dieser Funktion festzulegen. Insbesondere müssen Umwelteinflüsse (z. B. Vibrationen, Betätigungsart etc.) berücksichtigt werden (siehe auch Abschnitt „Handlungen im Notfall“ ➜ 3-46).

➜ Siehe IEC 60204-1 und ISO 13850

Sicherheitsrelevante Anzeigen und Alarme

Sicherheitsrelevante Anzeigen sind Maßnahmen zur Benutzerinformation, die vor drohenden Gefährdungen (z. B. Überdrehzahl) oder möglichen Restrisiken warnen. Derartige Signale können auch dazu verwendet werden, um Bedienpersonen zu warnen, bevor automatische Schutzmaßnahmen ausgelöst werden.

- Warneinrichtungen müssen so konstruiert und angeordnet sein, dass die Überprüfung leicht durchführbar ist.
- Die Benutzerinformation muss die regelmäßige Überprüfung von Warneinrichtungen vorschreiben.
- Reizüberflutung sollte vermieden werden, insbesondere bei akustischen Alarmen.

Beispiele:

- Verriegelungsanzeigen
- Anlaufwarneinrichtungen
- Muting-Leuchten

Weitere Funktionen

Weitere Funktionen können auch von sicherheitstechnischen Einrichtungen ausgeführt werden, auch wenn diese nicht zum Schutz von Personen verwendet werden. Hierdurch werden die eigentlichen Sicherheitsfunktionen nicht beeinträchtigt.

Beispiele:

- Werkzeug- bzw. Maschinenschutz
- Taktbetrieb (Zyklusauslösung ➜ 3-40 ff)
- Zustand der Schutzeinrichtung wird für Automatisierungsaufgaben (z. B. Navigation) mitgenutzt

Zusammenfassung: Festlegen der Sicherheitsfunktionen

Legen Sie fest, welche Sicherheitsfunktionen zur Risikominderung erforderlich sind:

- Zugang bzw. Zugriff dauerhaft verhindern
- Zugang zeitweise verhindern
- Teile, Stoffe, Strahlungen zurückhalten
- Stopp auslösen
- Start verhindern
- Unerwarteten Anlauf vermeiden
- Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern
- Mensch von Material unterscheiden
- Maschinenparameter überwachen
- Sicherheitsfunktionen manuell und zeitlich begrenzt aufheben
- Sicherheitsfunktionen kombinieren oder wechseln

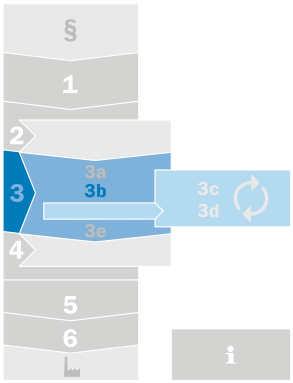
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Schritt 3b: Bestimmen des erforderlichen Sicherheitsniveaus

In der Regel wird in C-Normen (maschinen-spezifische Normen) das erforderliche Sicherheitsniveau vorgegeben.
Das erforderliche Sicherheitsniveau ist für jede Sicherheitsfunktion einzeln festzulegen und gilt dann für alle beteiligten Geräte, wie z. B. für ...

- den Sensor bzw. die Schutzeinrichtung
- die auswertende Logikeinheit
- den oder die Aktor(en)

Falls keine C-Norm für die entsprechende Maschine vorhanden ist oder in der C-Norm diesbezüglich keine Vorgaben existieren, kann das erforderliche Sicherheitsniveau nach einer der folgenden Normen ermittelt werden:



→ ISO 13849-1
→ IEC 62061

Durch die Anwendung der Normen wird sichergestellt, dass der Aufwand für die Realisierung in einem angemessenen Verhältnis zum festgestellten Risiko steht.
Der Schutz eines Bedieners, der mit der Hand Teile in eine Metallpresse einlegt bzw. daraus entnimmt, verlangt eine andere Betrachtungsweise als der Schutz eines Bedieners, der an einer Maschine arbeitet, bei der das maximale Risiko im Einklemmen eines Fingers besteht.
Darüber hinaus kann ein und dieselbe Maschine in verschiedenen Lebensphasen verschiedene Gefahrstellen mit unterschiedlichen Risiken besitzen.
Hier sind Sicherheitsfunktionen für jede Lebensphase und Gefährdung einzeln festzulegen.

Basis für alle Normen sind die folgenden Parameter der Risikobewertung:
die Schwere der möglichen Verletzung/Gesundheitsschädigung die Häufigkeit und/oder die Dauer der Gefahrexposition die Möglichkeit der Gefahrvermeidung Die Kombination der Parameter bestimmt das erforderliche Sicherheitsniveau.
Bei der Anwendung der in diesen Normen beschriebenen Verfahren zur Bestimmung des Sicherheitsniveaus wird die Maschine ohne Schutzeinrichtungen betrachtet.

3 b

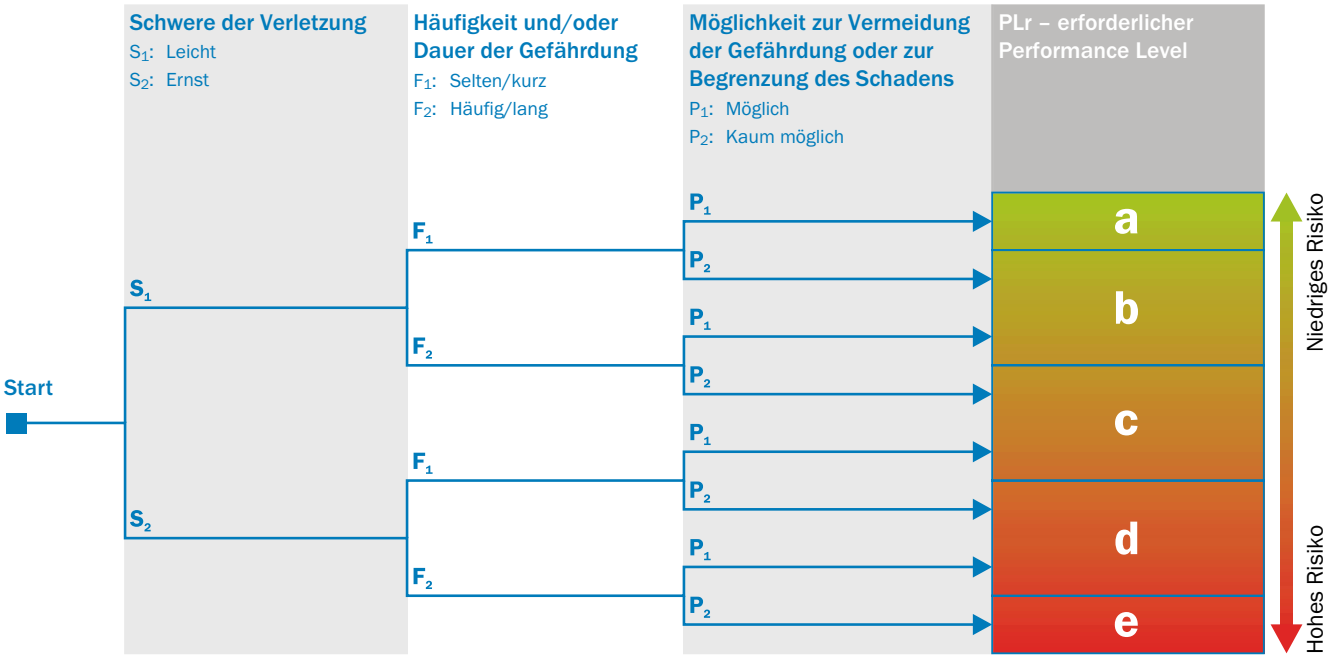
In diesem Kapitel ...

Erforderlicher Performance Level (PLr) gemäß ISO 13849-1 3-10
Erforderlicher Sicherheits-Integritätslevel (SIL) gemäß IEC 62061 3-11
Zusammenfassung. 3-12

Erforderlicher Performance Level (PLr) gemäß ISO 13849-1

Diese Norm verwendet zur Bestimmung des erforderlichen Sicherheitsniveaus ebenfalls einen Risikographen. Für die Bestimmung der Risikohöhe werden die Parameter S, F und P verwendet.

Das Ergebnis des Verfahrens ist ein „erforderlicher Performance Level“ (PLr: required Performance Level).



Risikograph nach ISO 13849-1

Der Performance Level ist in fünf diskreten Stufen definiert. Der Performance Level hängt ab von der Struktur des Steuerungssystems, der Zuverlässigkeit der verwendeten Bauteile, der Fähigkeit, Fehler zu erkennen sowie der Widerstandsfähigkeit gegen Fehler aufgrund gemeinsamer Ursache in mehrkanaligen Steuerungen (siehe Abschnitt „Sicherheitstechnische Kenngrößen für Teilsysteme“ ➜ 3-16). Zusätzlich sind weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Designfehlern gefordert.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Erforderlicher Sicherheits-Integritätslevel (SIL) gemäß IEC 62061

Das hier verwendete Verfahren ist ein numerisches Verfahren. Es werden das Schadensausmaß, die Häufigkeit bzw. Aufenthaltsdauer im Gefahrbereich und die Möglichkeit zur Vermeidung bewertet. Zusätzlich wird die Eintrittswahrscheinlichkeit des Gefährdungsereignisses berücksichtigt. Das Ergebnis ist der erforderliche Sicherheits-Integritätslevel (SIL).

Auswirkungen	Schadensausmaß S	Klasse K = F + W + P				
		4	5-7	8-10	11-13	14-15
Tod, Verlust von Auge oder Arm	4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
Permanent, Verlust von Fingern	3			SIL1	SIL2	SIL3
Reversibel, medizinische Behandlung	2				SIL1	SIL2
Reversibel, Erste Hilfe	1					SIL1

Häufigkeit [1] des Gefährdungsereignisses F	
F ≥ 1 × pro Stunde	5
1 × pro Stunde > F ≥ 1 × pro Tag	5
1 × pro Tag > F ≥ 1 × in 2 Wochen	4
1 × in 2 Wochen > F ≥ 1 × pro Jahr	3
1 × pro Jahr > F	2

Eintrittswahrscheinlichkeit des Gefährdungsereignisses W	
Häufig	5
Wahrscheinlich	4
Möglich	3
Selten	2
Vernachlässigbar	1

Möglichkeit zur Vermeidung des Gefährdungsereignisses P	
Unmöglich	5
Möglich	3
Wahrscheinlich	1

1) Gilt für Aufenthalte von mehr als 10 Minuten Dauer

Die SIL-Festsetzung wird wie folgt vorgenommen:

1. Schadensausmaß S festlegen.
2. Punkte für Häufigkeit F, Wahrscheinlichkeit W und Vermeidung P bestimmen.
3. Klasse K aus der Summe F + W + P berechnen.
4. Geforderter SIL ist der Schnittpunkt aus Zeile „Schadensausmaß S“ und Spalte „Klasse K“.

Der SIL ist in drei diskreten Stufen definiert. Der realisierte SIL hängt ab von der Struktur des Steuerungssystems, der Zuverlässigkeit der verwendeten Bauteile, der Fähigkeit, Fehler zu erkennen, sowie der Widerstandsfähigkeit gegen Fehler aufgrund gemeinsamer Ursache in mehrkanaligen Steuerungen. Zusätzlich sind weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Designfehlern gefordert (siehe Abschnitt „Sicherheitstechnische Kenngrößen für Teilsysteme“ ➜ 3-16).

Anwendungsbereich der ISO 13849-1 und IEC 62061

Sowohl die ISO 13849-1 als auch die IEC 62061 definieren Anforderungen für den Entwurf und die Realisierung sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen. Der Anwender kann die relevante Norm entsprechend der verwendeten Technologie nach den Angaben in der nebenstehenden Tabelle auswählen.

Technologie	ISO 13849-1	IEC 62061
Hydraulik	Anwendbar	Nicht anwendbar
Pneumatik	Anwendbar	Nicht anwendbar
Mechanik	Anwendbar	Nicht anwendbar
Elektrik	Anwendbar	Anwendbar
Elektronik	Anwendbar	Anwendbar
Programmierbare Elektronik	Anwendbar	Anwendbar

Zusammenfassung: Bestimmen des erforderlichen Sicherheitsniveaus

Allgemein

- Legen Sie das erforderliche Sicherheitsniveau für jede Sicherheitsfunktion fest.
- Die Parameter „Schwere der möglichen Verletzung“, „Häufigkeit und Dauer der Gefahrexposition“ und „Möglichkeit zur Gefahrvermeidung“ bestimmen das erforderliche Sicherheitsniveau.

Verwendbare Normen

- Die ISO 13849-1 verwendet zur Bestimmung des erforderlichen Sicherheitsniveaus einen Risikographen. Das Ergebnis des Verfahrens ist ein „erforderlicher Performance Level“ (PLr).
- Die ISO 13849-1 ist auch für Hydraulik, Pneumatik und Mechanik anwendbar.
- Die IEC 62061 verwendet ein numerisches Verfahren. Das Ergebnis ist ein erforderlicher Sicherheits-Integritätslevel (SIL).

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Schritt 3c: Entwerfen der Sicherheitsfunktion

Die Schritte 3c und 3d beschreiben Entwurf und Verifizierung der Sicherheitsfunktionen durch Auswahl der richtigen Technologie, der geeigneten Schutzeinrichtungen und Komponenten. Diese Schritte sind in einem iterativen Prozess unter Umständen mehrmals zu durchlaufen.

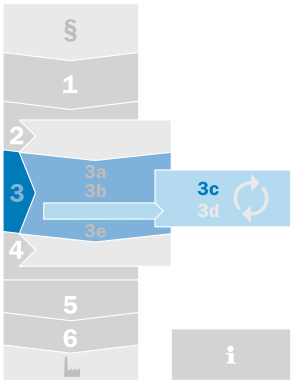
Hierbei ist immer wieder zu überprüfen, ob die Auswahl der Technologie genügend Sicherheit verspricht und auch technisch zu realisieren ist oder ob durch den Einsatz einer bestimmten Technologie andere oder zusätzliche Risiken entstehen.

Erstellen des Sicherheitskonzepts

Eine Maschine oder Anlage besteht aus verschiedenen Komponenten, die zusammenwirken und die Funktion einer Maschine oder Anlage sicherstellen.

Hierbei sind Komponenten, die reine Betriebsaufgaben übernehmen, zu unterscheiden von solchen, die sicherheitstechnische Funktionen übernehmen.

➜ Details zum Sicherheitskonzept: BGIA-Report 2/2008, „Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen“ unter www.dguv.de/ifa/de/pub

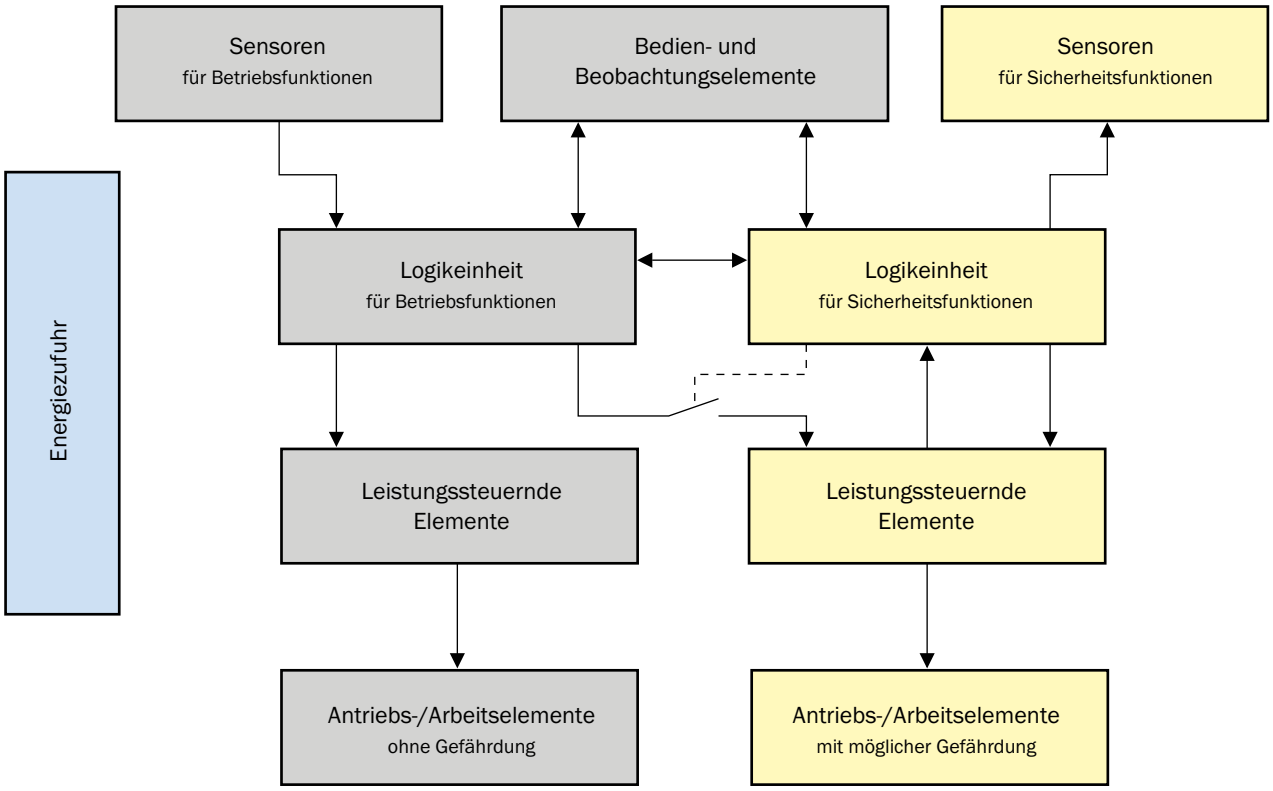


3 c

In diesem Kapitel ...

Erstellen des Sicherheitskonzepts 3-13
Funktionaler Aufbau einer Maschinensteuerung 3-14
Technologie, Auswahl und Anwendung von Schutzeinrichtungen 3-19
Positionieren bzw. Dimensionieren der Schutzeinrichtungen 3-47
Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf 3-65
Integrieren in die Steuerung 3-66
Fluidtechnische Steuerungen 3-78
Sicherheitsgerichtete Pneumatik 3-80
Produktübersicht Sicherheitstechnik 3-81
Zusammenfassung 3-82

Funktionaler Aufbau einer Maschinensteuerung



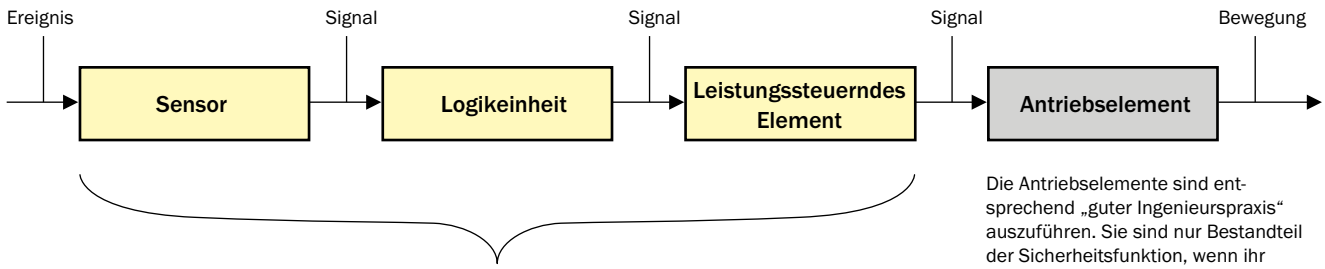
Entsprechend den Sicherheitsfunktionen und dem erforderlichen Sicherheitsniveau sind die sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen auszuwählen, wie z. B. Sensoren, Logikeinheiten, leistungssteuernde Elemente sowie Antriebs- und Arbeitselemente. Diese Auswahl wird in der Regel in der Form eines Sicherheitskonzepts ausgeführt.

Eine Sicherheitsfunktion kann durch eine oder mehrere sicherheitsbezogene Komponenten realisiert sein. Mehrere Sicherheitsfunktionen können sich eine oder mehrere Komponenten teilen. Steuerungen sind so zu gestalten, dass Gefährdungssituationen vermieden werden. Das Ingangsetzen einer Maschine darf nur durch absichtliches Betätigen einer hierfür vorgesehenen Befehlseinrichtung möglich sein.

Wenn vom Wiederanlauf der Maschine eine Gefährdung ausgeht, dann muss der Wiederanlauf beim Einschalten der Versorgungsspannung technisch ausgeschlossen werden.

Wenn vom Wiederanlauf keine Gefährdung ausgeht, dann darf der Wiederanlauf ohne Bedienereingriff (automatisch) erfolgen.

Teilsysteme des sicherheitsgerichteten Teils einer Maschinensteuerung



Teilsysteme des sicherheitsgerichteten Teils einer Maschinensteuerung

Die Antriebselemente sind entsprechend „guter Ingenieurspraxis“ auszuführen. Sie sind nur Bestandteil der Sicherheitsfunktion, wenn ihr Versagen zu einer Gefährdung führen kann (z. B. hängende Achsen).

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Entscheidungsmerkmale

Folgende Merkmale sind bei der Erstellung des Sicherheitskonzepts zu berücksichtigen:

- Merkmale der Maschine
- Merkmale der Umgebung
- Menschliche Eigenschaften
- Merkmale des Designs
- Merkmale von Schutzeinrichtungen (➜ 3-19)

Abhängig von diesen Merkmalen muss festgelegt werden, welche Schutzeinrichtungen wie zu integrieren sind.

Merkmale der Maschine

Folgende Merkmale der Maschine sollten berücksichtigt werden:

- Fähigkeit, die Gefahr bringende Bewegung zu jedem Zeitpunkt zu stoppen (wenn nicht möglich, trennende oder abweisende Schutzeinrichtungen anwenden)
- Fähigkeit, die Gefahr bringende Bewegung ohne zusätzliche Gefährdungen anzuhalten (wenn nicht möglich, andere Konstruktion bzw. Schutzeinrichtung wählen)
- Möglichkeit der Gefährdung durch herausgeschleuderte Teile (wenn ja: trennende Schutzeinrichtungen verwenden)
- Stoppzeiten (die Kenntnis der Stoppzeiten ist erforderlich, um die Wirkung der Schutzeinrichtung sicherzustellen)
- Möglichkeit der Überwachung von Stoppzeit bzw. Nachlaufweg (dies ist erforderlich, wenn durch Alterung bzw. Verschleiß Veränderungen auftreten können)

Merkmale der Umgebung

Folgende Merkmale der Umgebung sollten berücksichtigt werden:

- elektromagnetische Störungen, Störstrahlung
- Vibration, Schock
- Fremdlicht, Störlicht von Sensoren, Schweißfunken
- spiegelnde Flächen
- Verschmutzung (Nebel, Späne)
- Temperaturbereich
- Feuchtigkeit, Witterung

Menschliche Eigenschaften

Folgende menschliche Eigenschaften sollten berücksichtigt werden:

- voraussichtliche Qualifikation des Bedieners der Maschine
- voraussichtlicher Personenverkehr
- Annäherungsgeschwindigkeit (K)
- Möglichkeiten des Umgehens der Schutzeinrichtungen
- vorhersehbare Fehlanwendung

Merkmale des Designs

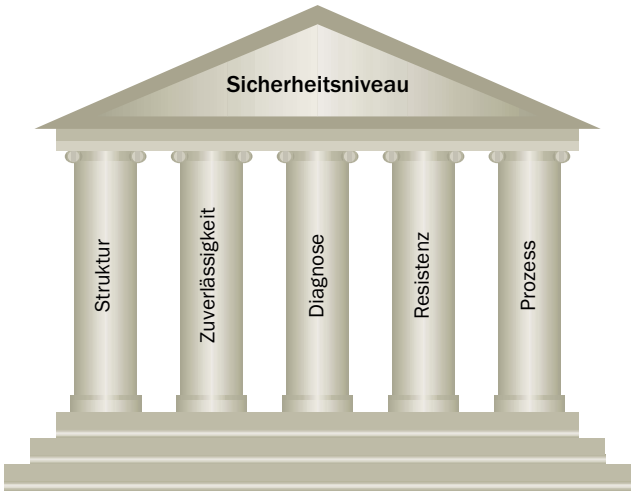
Grundsätzlich ist es ratsam, Sicherheitsfunktionen mit zertifizierten Sicherheitskomponenten zu realisieren. Hierdurch werden der Designprozess und die nachfolgende Verifizierung vereinfacht. Eine Sicherheitsfunktion wird durch mehrere Teilsysteme ausgeführt.

Häufig ist es nicht möglich, ein Teilsystem nur mit zertifizierten Sicherheitskomponenten zu realisieren, die das Sicherheitsniveau (PL/SIL) bereits angeben. Vielmehr muss es dann aus mehreren diskreten Elementen zusammengesetzt werden. In diesem Fall ist das Sicherheitsniveau abhängig von verschiedenen Kenngrößen.

Sicherheitstechnische Kenngrößen für Teilsysteme

Das Sicherheitsniveau eines Teilsystems ist abhängig von verschiedenen sicherheitstechnischen Kenngrößen wie:

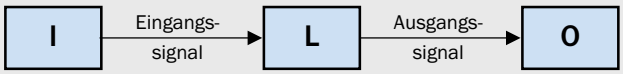
- Struktur
- Zuverlässigkeit der Komponenten bzw. Geräte
- Diagnose zur Fehlererkennung
- Resistenz gegen Fehler aufgrund gemeinsamer Ursachen
- Prozess



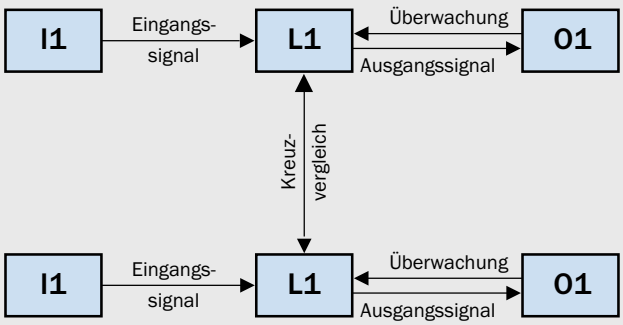
Struktur

Um die Fehleranfälligkeit einer Sicherheitskomponente durch eine bessere Struktur zu reduzieren, können die sicherheitstechnischen Funktionen von mehreren Kanälen parallel ausgeführt werden. Im Bereich der Maschinensicherheit sind zweikanalige Sicherheitskomponenten üblich (siehe nachfolgende Abbildung). Jeder Kanal kann den Gefahr bringenden Zustand stoppen. Die zwei Kanäle können auch diversitär aufgebaut sein (z. B. wird ein Kanal durch elektromechanische Komponenten abgebildet, der andere durch reine Elektronik). Anstelle eines zweiten gleichwertigen Kanals kann dieser auch eine reine Überwachungsfunktion haben.

Einkanalige Sicherheitskomponente



Zweikanalige Sicherheitskomponente

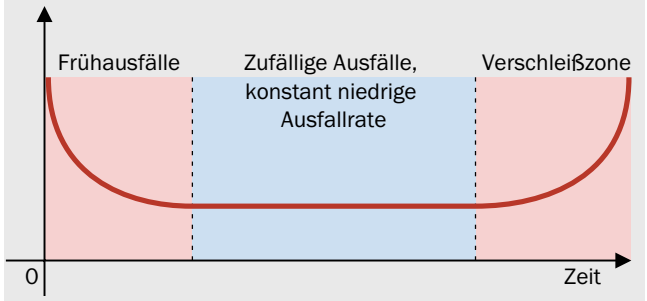


Zuverlässigkeit der Komponenten bzw. Geräte

Jeder Ausfall einer Sicherheitskomponente führt zu einer Störung des Produktionsablaufs. Daher ist es wichtig, zuverlässige Komponenten einzusetzen. Mit steigender Zuverlässigkeit ist auch ein Gefahr bringender Ausfall unwahrscheinlicher. Zuverlässigkeitsangaben sind ein Maß für zufällige Ausfälle innerhalb der Lebensdauer und werden üblicherweise wie folgt angegeben:

- Für elektromechanische oder pneumatische Komponenten: **B_{10}-Werte**. Hier hängt die Lebensdauer von der Schalthäufigkeit ab. B_{10} gibt die Anzahl der Schaltzyklen an, nach der 10 % der Komponenten ausgefallen sind.
- Für elektronische Komponenten: **Ausfallrate λ** (Lambdawert). Oft wird die Ausfallrate in FIT (Failures In Time) angegeben. Ein FIT ist dabei ein Ausfall je 10^9 Stunden.

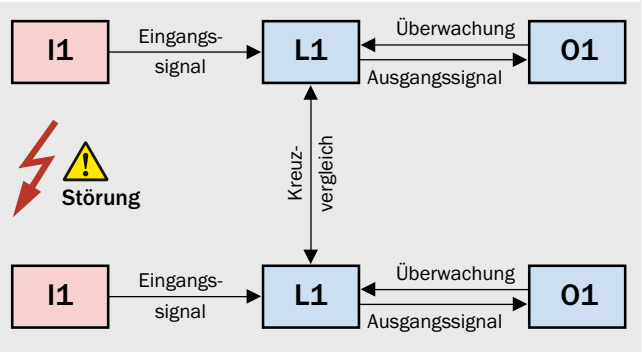
Ausfallrate λ (Badewannenkurve)



8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Diagnose zur Fehlererkennung
Bestimmte Fehler können durch Diagnosemaßnahmen aufgedeckt werden. Hierzu zählen die gegenseitige Überwachung, Strom- und Spannungsüberwachung, Watchdog-Funktionalitäten, kurzzeitiger Funktionstest usw.
Nicht alle Fehler lassen sich aufdecken, daher ist das Maß der Fehlererkennung zu bestimmen. Hierzu kann eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA = Failure Mode Effects Analysis) durchgeführt werden. Für komplexe Designs helfen Maßnahmen und Erfahrungswerte aus Normen.

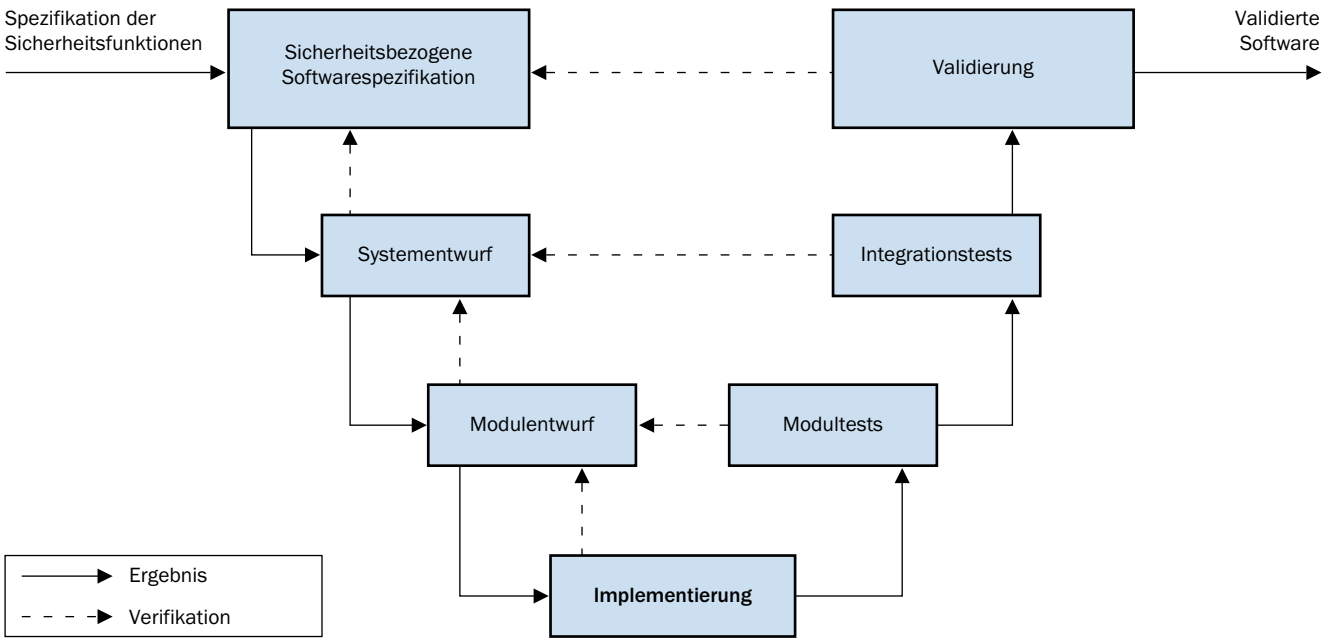
Resistenz gegen Fehler aufgrund gemeinsamer Ursache
Von Fehlern aufgrund gemeinsamer Ursache spricht man, wenn zum Beispiel durch eine Störbeeinflussung beide Kanäle gleichzeitig ausfallen.
Hier sind entsprechende Maßnahmen zu treffen, z. B. getrennte Leitungsführung, Schutzbeschaltungen, Diversität von Bauteilen usw.



Prozess
Der Prozess fasst folgende beeinflussende Elemente zusammen:

- Organisation und Kompetenz
- Designregeln (z. B. Spezifikationsvorlagen, Codierungsrichtlinien)
- Prüfkonzept und Prüfkriterien
- Dokumentation und Konfigurationsmanagement

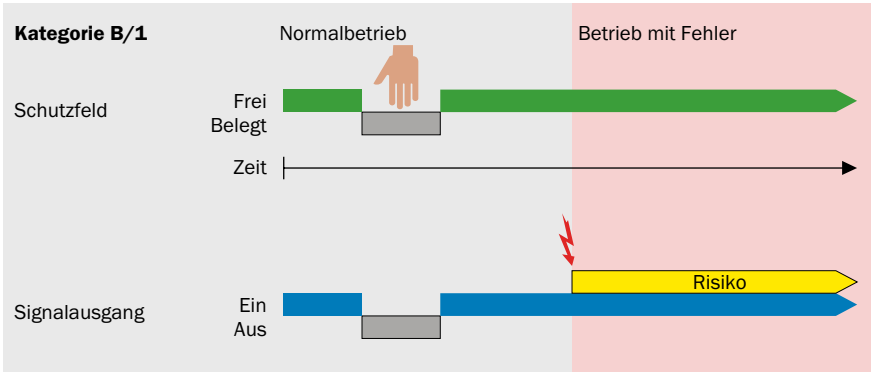
Im Bereich der Sicherheitstechnik hat sich insbesondere für das Software-Design ein Prozess nach dem V-Modell bewährt (siehe Abbildung).



Betrachtung gemäß ISO 13849-1*

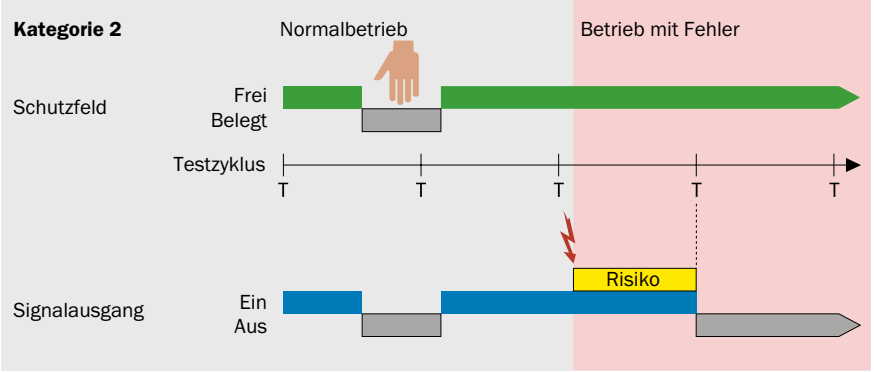
Die Struktur wird in der Norm ISO 13849-1 durch die nachfolgend dargestellten Kategorien beschrieben.

* Bemerkung: Eine Sicherheitsfunktion ist definiert als Funktion, deren Versagen zu einer unmittelbaren Erhöhung des Risikos führen kann. Deshalb muss der Verlust der Sicherheitsfunktion als Auftreten oder Erhöhung des Risikos angesehen werden.



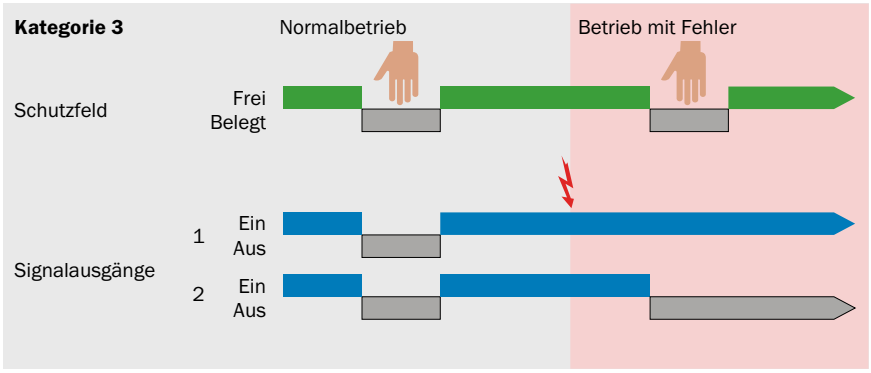
Kategorie B/Kategorie 1

Keine Fehlererkennung. Ein Fehlerfall führt zu einem Risiko.
Mit zuverlässigen und bewährten Komponenten (Kategorie 1) kann das Risiko minimiert werden.



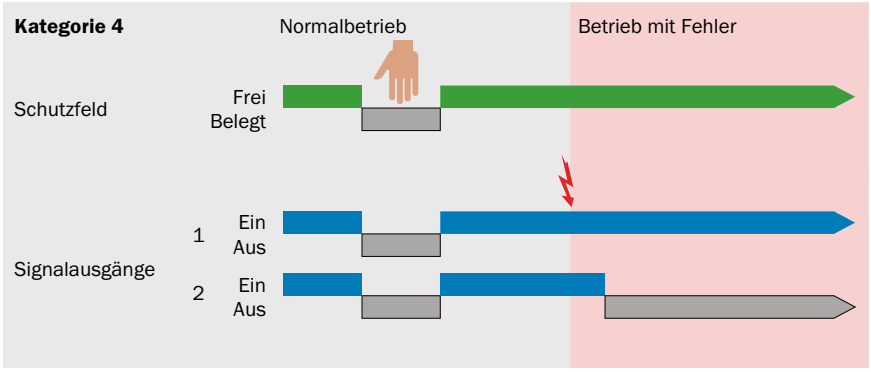
Kategorie 2

Die Fehlererkennung erfolgt durch einen Test. Im Zeitraum zwischen Fehlerfall und dem nächsten Test besteht ein Risiko. Die Testrate gemäß ISO 13849-1 ist zu beachten.



Kategorie 3

Im Falle eines Fehlers bleibt die Sicherheitsfunktion erhalten.
Der Fehler wird erkannt, entweder wenn die Sicherheitsfunktion ausgeführt oder der nächste Test durchgeführt wird. Eine Anhäufung von Fehlern führt zum Verlust der Sicherheitsfunktion.



Kategorie 4

Trotz eines Fehlers bleibt die Sicherheitsfunktion erhalten.
Im Gegensatz zu Kategorie 3 dürfen Folgefehler bei Nichterkennen des Erstfehlers nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

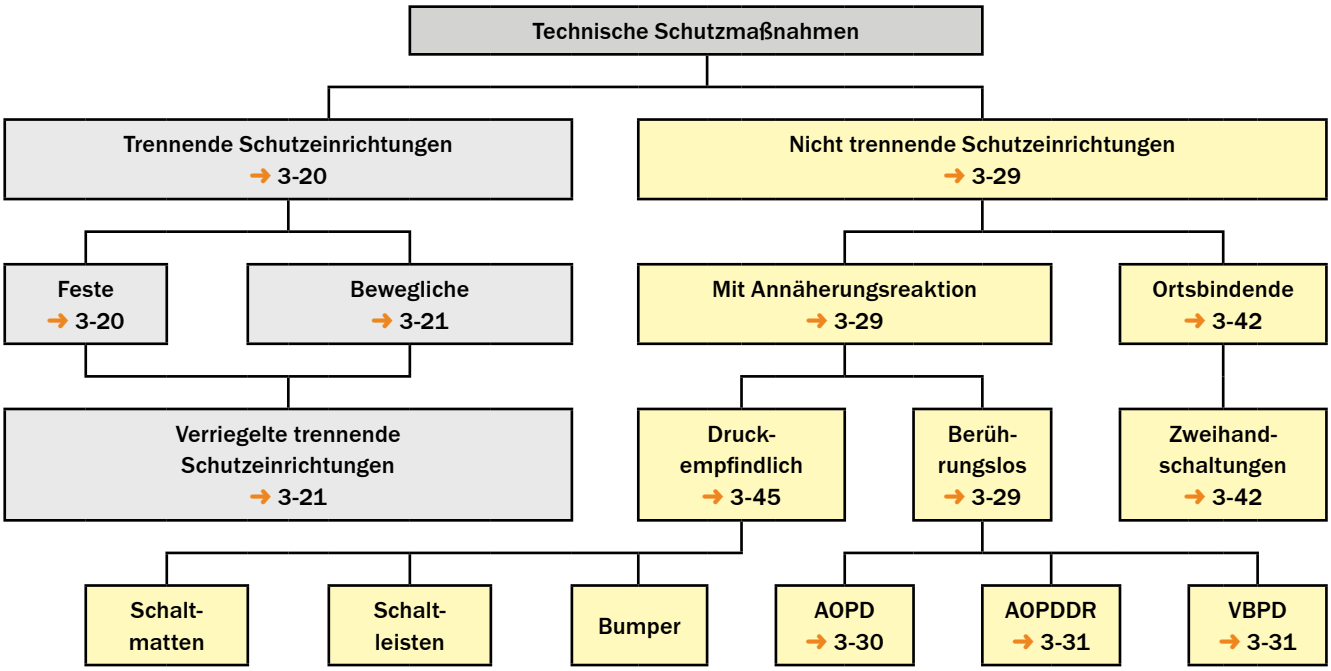
Merkmale von Schutzeinrichtungen

Zu berücksichtigende Merkmale einer Schutzeinrichtung sind:

- Eigenschaften und Anwendungen der Schutzeinrichtungen (berührungslos wirkend, trennend etc. (➜ 3-19ff)
- Position bzw. Dimension der Schutzeinrichtungen (➜ 3-47)
- Integration in die Steuerung (➜ 3-66)

Die folgenden Abschnitte beschreiben diese Punkte im Detail.

Technologie, Auswahl und Anwendung von Schutzeinrichtungen



Trennende Schutzeinrichtungen

Trennende Schutzeinrichtungen sind mechanische Schutzeinrichtungen, die ein direktes Erreichen der Gefahrstellen mit den Körperteilen verhindern oder vermeiden. Sie können fest oder beweglich ausgeführt sein. Trennende Schutzeinrichtungen sind Abdeckungen, Zäune, Barrieren, Klappen, Schutztüren etc. Abdeckungen und Verdecke verhindern den Zugriff von allen Seiten. Schutzgitter werden in der Regel verwendet, um den Ganzkörperzugang zu verhindern. Im Gegensatz dazu können Absperrungen lediglich den ungewollten oder unbewussten Zugang zu Gefahrstellen vermeiden.
Die Sicherheitsfunktion ist wesentlich für die Ausgestaltung trennender Schutzeinrichtungen. Muss die trennende Schutzeinrichtung z. B. nur den Zugang verhindern, und/oder auch Teile und Strahlungen zurückhalten?

Beispiele von herausgeschleuderten Teilen:

- brechende/berstende Werkzeuge (Schleifscheiben, Bohrer)
- auftretende Stoffe (Staub, Späne, Splitter, Partikel)
- austretende Stoffe (Hydrauliköl, Druckluft, Schmiermittel, Werkstoffe)
- geschleuderte Teile nach dem Versagen eines Greif- oder Handhabungssystems

Beispiele von auftretenden Strahlungen:

- Wärmestrahlung des Prozesses oder der Produkte (heiße Oberflächen)
- optische Strahlungen von Laserlicht, IR- oder UV-Quellen
- Teilchen- oder Ionenstrahlung
- starke elektromagnetische Felder, Hochfrequenzeinrichtungen
- Hochspannung von Prüfsystemen oder Systemen zur Ableitung elektrostatischer Aufladungen (Papier und Kunststoffbahnen)

Um Strahlung oder Stoffe zurückzuhalten, müssen die mechanischen Anforderungen an die trennenden Schutzeinrichtungen in der Regel höher sein als bei trennenden Schutzeinrichtungen zur Vermeidung des Zugangs von Personen.
Die Beschädigung (Bruch oder Deformation) einer trennenden Schutzeinrichtung wird in Fällen erlaubt, in denen die Risikobeurteilung ergibt, dass dadurch keine weiteren Gefährdungen auftreten.

3 c

Grundanforderungen an trennende Schutzeinrichtungen

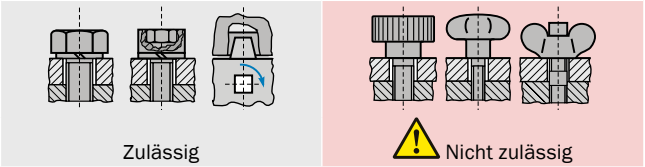
- Damit Schutzeinrichtungen den zu erwartenden betriebsmäßigen Beanspruchungen der Umgebung standhalten, müssen sie ausreichend fest und haltbar ausgelegt sein. Die Eigenschaften von trennenden Schutzeinrichtungen müssen während der gesamten Nutzungsdauer der Maschinen beibehalten werden.
- Sie dürfen keine zusätzlichen Gefahren verursachen.
- Sie dürfen nicht auf einfache Weise umgangen oder unwirksam gemacht werden können.
- Sie dürfen die Beobachtung des Arbeitsablaufs nicht mehr als notwendig einschränken, sofern eine Beobachtung erforderlich ist.
- Sie müssen fest an ihrem Platz gehalten werden.
- Sie müssen entweder durch Systeme gehalten werden, die nur mit Werkzeugen geöffnet werden können, oder sie müssen mit der Gefahr bringenden Bewegung verriegelt sein.
- Soweit es möglich ist, dürfen sie nach Lösen der Befestigungsmittel nicht in Schutzstellung bleiben.

→ Trennende Schutzeinrichtungen: ISO 14120
→ Leitsätze zur sicheren Maschinengestaltung: ISO 12100 (A-Norm)

Befestigung von trennenden Schutzeinrichtungen

Schutzeinrichtungen, die nicht häufig oder nur für Instandhaltungsarbeiten abgenommen oder geöffnet werden, müssen grundsätzlich so mit dem Maschinengestell verbunden sein, dass sie nur mit Werkzeug (z. B. Schraubenschlüssel, Bartschlüssel) gelöst werden können. Ihr Entfernen muss einen montagemäßigen Vorgang bedeuten, für den Werkzeuge notwendig sind.
Die Befestigungselemente von Schutzeinrichtungen, die regelmäßig demontiert oder abgenommen werden, müssen so gestaltet sein, dass sie nicht verloren gehen können (z. B. unverlierbare Schrauben).
Andere Befestigungsarten, wie Schnellverschlüsse, Schraubengriffe, Rändel- und Flügelschrauben, sind nur zulässig, wenn die trennenden Schutzeinrichtungen verriegelt werden.

Beispiel: Befestigungsarten für trennende Schutzeinrichtungen



8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen

Bewegliche Schutzeinrichtungen, die ohne Werkzeug häufig oder regelmäßig (z. B. für Rüstarbeiten) geöffnet werden, müssen mit der Gefahr bringenden Funktion der Maschine funktionell gekoppelt sein (Verriegelung, Zuhaltung). Von häufigem Öffnen spricht man z. B., wenn die Schutzeinrichtung innerhalb einer Arbeitsschicht mindestens einmal geöffnet wird.
Wenn beim Öffnen von Schutzeinrichtungen mit Gefährdungen zu rechnen ist (z. B. sehr langer Nachlauf), dann sind Zuhaltungen erforderlich.

Ergonomische Anforderungen an bewegliche trennende Schutzeinrichtungen

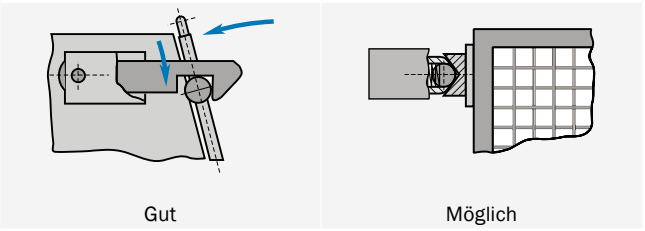
Beim Gestalten der Schutzeinrichtungen sind auch ergonomische Gesichtspunkte von Bedeutung. Nur dann, wenn Schutzeinrichtungen das Rüsten und Instandhalten und ähnliche Tätigkeiten nicht mehr als notwendig erschweren, werden sie von den Beschäftigten akzeptiert. Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen müssen folgende ergonomische Kriterien erfüllen:

- leichtes (z. B. einhändiges) Öffnen und Schließen, Heben oder Verschieben
- funktionsgerechter Handgriff
- Die geöffneten Schutzeinrichtungen sollen den erforderlichen Zugang oder Zugriff bequem ermöglichen.

Mechanische Arretierung von beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen

Soweit durchführbar, müssen bewegliche trennende Schutzeinrichtungen so mit der Maschine verbunden sein, dass sie durch Scharniere, Führungen usw. in geöffneter Stellung sicher gehalten werden können. Formschlüssige Halterungen sollen bevorzugt werden. Reibschlüssige Halterungen (z. B. Kugelkalotten) sind wegen ihrer nachlassenden Wirkung (Verschleiß) nicht zu empfehlen.

Beispiel: Arretieren von trennenden Schutzeinrichtungen



Gut | Möglich

Verriegelung trennender Schutzeinrichtungen

Trennende Schutzeinrichtungen müssen verriegelt werden, wenn sie:

- zyklisch betätigt bzw. regelmäßig geöffnet werden (Türen, Klappen)
- ohne Werkzeug oder leicht entfernbar sind (z. B. Abdeckungen)
- gegen ein hohes Gefährdungspotenzial schützen

Verriegeln bedeutet, dass das Öffnen der Schutzeinrichtung in ein Steuerungssignal umgesetzt wird, das die Gefahr bringende Bewegung stoppt. Trennende Schutzeinrichtungen werden üblicherweise mit Positionsschaltern elektrisch verriegelt.
Die Verriegelung einer trennenden Schutzeinrichtung sollte folgende Funktionen erfüllen:

- Die Gefahr bringende Maschinenfunktion kann bei offener (fehlender) Schutzeinrichtung nicht ausgeführt werden (Start verhindern).
- Die Gefahr bringende Maschinenfunktion wird angehalten, wenn die Schutzeinrichtung geöffnet (entfernt) wird (Stopp auslösen).

Die Norm ISO 14119, die die Anforderungen an Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen beschreibt, wird zur Zeit überarbeitet.
Der nachfolgende Abschnitt erläutert den Inhalt der Überarbeitung.

Verriegelungseinrichtungen werden in vier Bauarten unterteilt:

Bezeichnung	Betätigung		Betätiger		SICK-Produkt	
	Prinzip	Beispiel	Prinzip	Beispiele	Beispiel	
Bauart 1	Mechanisch	Physischer Kontakt, Kraft, Druck	Nicht codiert	Schaltnocke	i10P	
				Schaltlineal	i10R	
				Scharnier	i10H	
Bauart 2			Codiert	Geformter Betätiger (Schaltzunge)	i16S	
				Schlüssel	–	
Bauart 3	Berührungslos	Induktiv	Nicht codiert	Geeignete ferromagnetische Stoffe	IN4000	
		Magnetisch		Magnete, Elektromagnete	MM12 [1]	
		Kapazitiv		alle geeigneten Stoffe	CM18 [1]	
		Ultraschall		alle geeigneten Stoffe	UM12 [1]	
		Optisch		alle geeigneten Stoffe	WT 12 [1]	
Bauart 4		Magnetisch	Codiert	Codierter Magnet	RE11	
		RFID		Codierter RFID-Transponder	TR4 Direct	
		Optisch		Codierter optischer Betätiger	–	

1) Diese Sensoren sind nicht für Sicherheitsanwendungen entwickelt. Bei der Anwendung in Verriegelungseinrichtungen muss der Konstrukteur mögliche systematische. Ausfälle und Fehler mit gemeinsamer Ursache sehr sorgfältig berücksichtigen und zusätzliche geeignete Maßnahmen treffen.

Verriegelungseinrichtungen vom Bauart 3 sollten nur dann angewendet werden, wenn die Risikobeurteilung ergibt, dass eine Manipulation nicht vorhersehbar ist oder zusätzliche Maßnahmen diese ausreichend verhindern.

Sicherheitsschalter, Positionsschalter und Verriegelungseinrichtungen

Der weit verbreitete Begriff „Sicherheitsschalter“ wird in den Normen nicht verwendet, da es aufgrund der Vielzahl von Technologien und Ausführungen von geeigneten Sensoren für Verriegelungseinrichtungen nicht möglich ist, gemeinsame Anforderungen zu definieren.

Unabhängig von der angewandten Technologie (mechanisch, elektrisch, pneumatisch, hydraulisch) gelten folgende Begriffsbestimmungen:

- Eine Verriegelungseinrichtung besteht aus einem Betätiger und einen Positionsschalter.
- Ein Positionsschalter besteht aus Betätigungselement und einem Ausgangssignalelement.

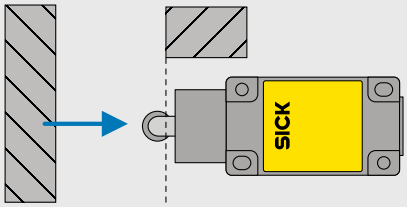
Je nach Technologie des verwendeten Positionsschalters und den Anforderungen der funktionalen Sicherheit ist entweder eine oder mehrere Verriegelungseinrichtungen für eine trennende Schutzeinrichtung erforderlich.

Mechanische Anbringung und Befestigung

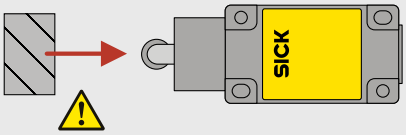
Eine zuverlässige mechanische Anbringung der Positionsschalter und der Betätiger ist entscheidend für deren Wirksamkeit. Die Elemente von Verriegelungseinrichtungen:

- müssen so angebracht sein, dass sie vor Schäden durch vorhersehbare äußere Einflüsse geschützt sind.
- dürfen nicht als mechanischer Anschlag verwendet werden.
- müssen durch Anordnung und Ausführung gegen unbeabsichtigtes Betätigen und Beschädigung gesichert sein.
- müssen durch Anordnung, Ausführung und Befestigung gegen unbeabsichtigte Lageänderungen gesichert sein. Wenn erforderlich, ist eine Sicherung des Schalters und des Betätigungselements durch Formschluss zu erreichen, z. B. mit Rundlöchern, Passstiften, Anschlägen.
- müssen durch die Betätigungsart oder ihre Einbindung in die Steuerung so gesichert sein, dass sie nicht auf einfache Weise umgangen werden können.
- müssen auf ihre einwandfreie Wirkungsweise überprüfbar und nach Möglichkeit zur Kontrolle leicht zugänglich sein.

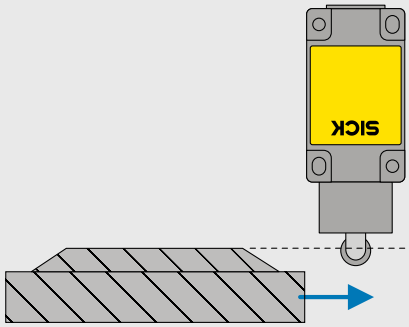
Beispiel: Mechanische Anbringung von Positionsschaltern



Richtige Montage: Der Positionsschalter wird durch einen mechanischen Anschlag geschützt.



Falsche Montage: Der Positionsschalter wird als Anschlag benutzt.

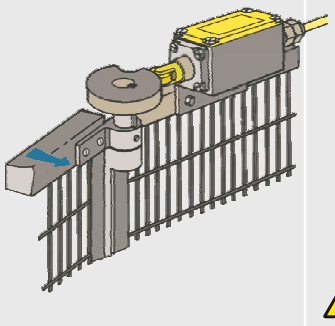


Richtige Montage: Die Höhe des Nockens wurde auf den Positionsschalter abgestimmt.

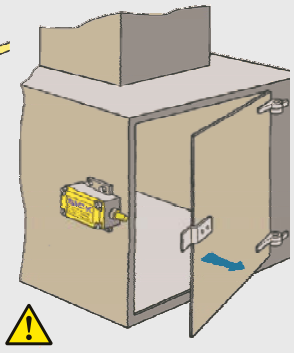
Betätigungsart bzw. zwangläufige Betätigung

Eine wichtige Anforderung an mechanische Verriegelungseinrichtungen ist die zwangläufige Betätigung. Bei der zwangläufigen Betätigung werden die beweglichen mechanischen Bauteile der Verriegelung (Sicherheitsschalter) zwangläufig durch die mechanischen Bauteile der trennenden Schutzeinrichtung (z. B. Schutztür) mitbewegt, entweder durch direkten Kontakt oder durch starre Teile. Die Anwendung der zwangläufigen Betätigung in einer Verriegelungseinrichtung stellt die Betätigung des Positionsschalters beim Öffnen der trennenden Schutzeinrichtungen sicher und verringert die Manipulationsmöglichkeiten.

Beispiel: Zwangsbetätigte Ausführung



Sicher: Das Öffnen der Schutztür bewegt zwangsläufig den mechanischen Stößel des Positionsschalters. Dadurch wird der Sicherheitsstromkreis geöffnet.



Fehlerhafte Konstruktion: Der Positionsschalter wird nicht immer den Sicherheitskreis öffnen, z. B. wenn Verkrustungen oder verharztes Schmieröl den Stößel verkleben.

Quelle: BG Feinmechanik und Elektrotechnik, BGI 575

Zwangsöffnung

Ein Kontaktelement ist zwangsöffnend, wenn die Trennung der Schaltkontakte unmittelbar durch eine definierte Bewegung des Betätigungselements durch nicht elastische Teile (z. B. Federn) erfolgt. Die Anwendung von zwangsöffnenden Kontakten von mechanisch betätigten Positionsschaltern stellt sicher, dass die Trennung des elektrischen Stromkreises auch bei Kontaktverschleißen oder anderen elektrischen Fehlern trotzdem noch ausgeführt wird.
Für mechanische Positionsschalter mit Zwangsöffnung gilt außerdem:

- Der Betätigungsweg muss entsprechend dem Zwangsöffnungsweg nach Herstellerangabe eingestellt sein.
- Der vom Hersteller angegebene Mindeststößelweg muss eingehalten werden, damit die für die Zwangsöffnung erforderliche Schaltstrecke gewährleistet ist.

Kennzeichnung von zwangsöffnenden Kontakten gemäß IEC 60947-5-1, Anhang K

Als gleichwertig zur Zwangsöffnung wird die Verwendung beider redundant überwachter elektronischer Ausgänge von berührungslosen Positionsschaltern angesehen. Wenn eine Verriegelungseinrichtung Bauart 3 oder Bauart 4 die einzige Verriegelungseinrichtung an einer trennenden Schutzeinrichtung ist, dann muss diese die Anforderungen von IEC 60947-5-3 erfüllen.

Manipulationsschutz

Bei der Gestaltung von Verriegelungseinrichtungen muss der Konstrukteur die mögliche Motivation, die Schutzeinrichtung zu manipulieren und die vorhersehbare Manipulation berücksichtigen.
Maßnahmen gegen eine Manipulation mit einfachen Mitteln müssen angewendet werden.
Einfache Mittel sind beispielsweise Schrauben, Nadeln, Blechstücke, Münzen, gebogener Draht u. ä.

Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung der einfachen Manipulation von Verriegelungseinrichtungen sind:

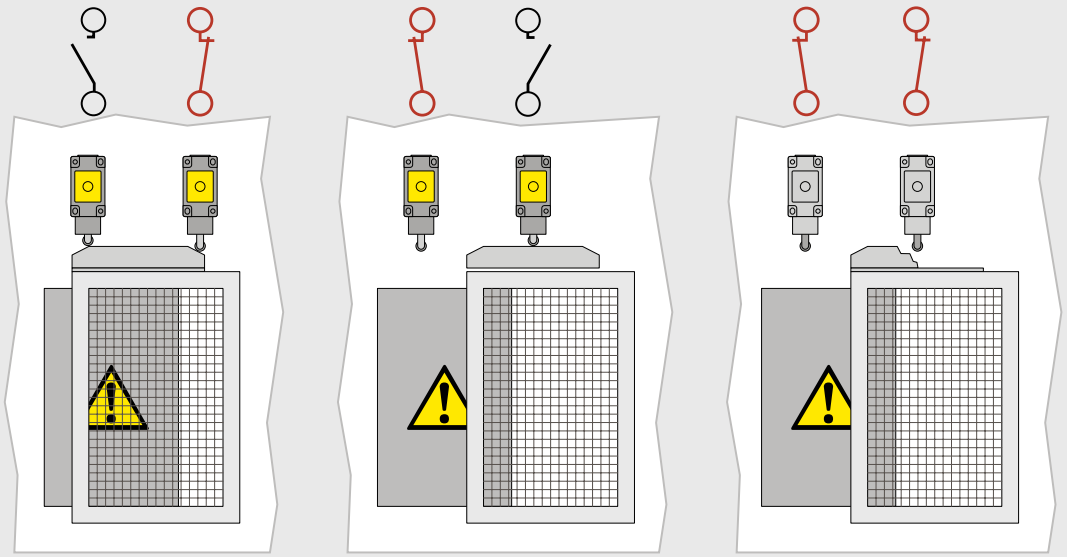
- Erschweren des Zugangs zu den Verriegelungseinrichtungen durch verdeckte Montage oder Montage außer Reichweite
- Verwendung von Positionsschaltern mit codierten Betätigern
- Befestigung der Elemente der Verriegelungseinrichtungen mit „Einweg“-Befestigungen (z. B. Sicherheitsschrauben, Nieten)
- Manipulationsüberwachung in der Steuerung (Plausibilitätsprüfung, Testung)

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Redundante Ausführung

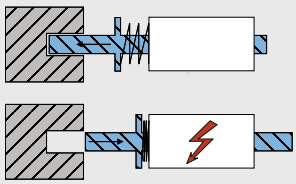
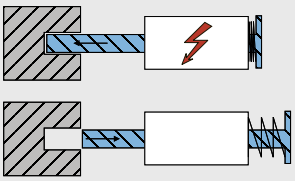
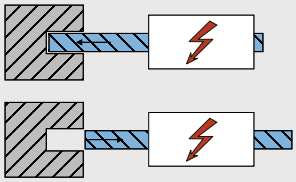
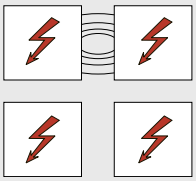
Durch Manipulation, mechanische Fehler am Betätiger- oder Positionsschalter (Beispiel: Alterung) oder durch den Einfluss von extremen Umgebungsbedingungen (Beispiel: Mehlverschmutzung verklebt Rollenstößel) ist ein kritischer Ausfall eines einzelnen Sicherheitsschalters möglich. Insbesondere bei höheren Sicherheitsniveaus ist es notwendig, einen weiteren Positionsschalter, z. B. mit gegenläufiger Funktion, zu nutzen und beide steuerungstechnisch zu überwachen.
Beispiel: eine Spritzgießmaschine, deren vordere Schutztüren zyklisch betätigt werden. Hier ist die Verwendung von zwei mechanischen Schaltern vorgeschrieben.

Beispiel: Erkennung von mechanischen Fehlern durch redundante diversitäre Anordnung



Zuhaltungen

Zuhaltungen sind Einrichtungen, die das Öffnen von trennenden Schutzeinrichtungen verhindern. Sie müssen verwendet werden, wenn die Stoppzeit des Gefahr bringenden Maschinenzustands größer ist als die Zeit, die eine Person benötigt, um den Gefahrbereich zu erreichen (Sicherheitsfunktion „Zutritt zeitweise verhindern“). Zuhaltungen sollen den Zugang zu den Gefahrbereichen so lange verhindern, bis der Gefahr bringende Maschinenzustand nicht mehr besteht. Zuhaltungen sind auch notwendig, wenn ein Prozess nicht unterbrochen werden darf (nur Prozessschutz, keine Sicherheitsfunktion). Die nachfolgende Abbildung zeigt die möglichen Ausführungen von Zuhaltungen.

	Form			Kraft
Prinzip				
Funktionsweise	Federkraftbetätigt und durch Energie entsperrt	Energiebetätigt und durch Federkraft entsperrt	Energiebetätigt und durch Energie entsperrt	Energiebetätigt und durch Energie entsperrt
Benennung	Mechanische Zuhaltung (für Personenschutz bevorzugt)	Elektrische Zuhaltung (für Prozessschutz bevorzugt)	Pneumatische bzw. hydraulische Zuhaltung	Magnetische Zuhaltung

Die Entsperrung der Zuhaltung durch Energie kann wie folgt durchgeführt werden:

- Zeitgesteuert: Bei Verwendung eines Zeitschalters darf ein Ausfall dieser Einrichtung die Verzögerungszeit nicht vermindern.
- Automatisch: Nur wenn kein Gefahr bringender Maschinenzustand besteht (z. B. durch Stillstandswächter).
- Manuell: Die Zeit zwischen Entsperrung und Freigabe der Schutzeinrichtung muss größer als die Stoppzeit des Gefahr bringenden Maschinenzustands sein.

Mechanische und elektrische Integration von Zuhaltungen

Für die Zuhaltungseinrichtungen gelten in der Regel die gleichen Hinweise wie für die Sicherheitsschalter. Beim Prinzip der Zwangsöffnung ist darauf zu achten, welche Kontakte zwangsöffnend ausgeführt sind. Türmeldekontakte signalisieren, wenn der Betätiger gezogen wurde, die Tür also offen ist. Diese können, müssen aber nicht immer zwangsöffnend sein.

Hilfs- und Notentsperrung

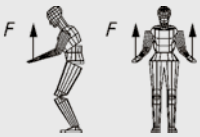
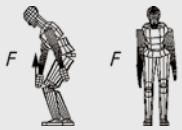
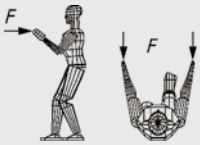
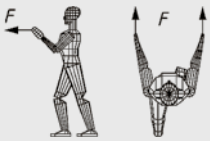
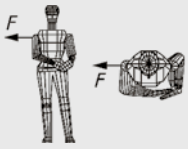
Die Risikobeurteilung kann ergeben, dass im Fehlerfall oder im Notfall Maßnahmen zum Befreien von eingeschlossenen Personen aus dem Gefahrbereich nötig sind. Zu unterscheiden sind Konzepte zur Hilfsentsperrung (mit Werkzeug) und zur Not- bzw. Fluchtentsperrung (ohne Werkzeug).

Erforderliche Zuhaltekraft

Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl der Zuhaltung ist die Kraft, mit der die trennende Schutzeinrichtung zugehalten werden muss. Der Anhang I des Normentwurfs ISO 14119 (2013) gibt maximal statische Kräfte an, die an den meistgebrauchten beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen angenommen werden können.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Erforderliche Zuhaltekraft für trennende Schutzeinrichtungen nach Anhang I der Norm ISO 14119 (2013)

Richtung der Kraft		Stellung	Kraftanwendung	Kraft [N]
	Waagrecht ziehend (Zerren)	Sitzend	Einhändig	600
	Senkrecht nach oben	Stehend, Torso und Beine angewinkelt, Füße parallel	Beidhändig, waagrechte Griffe	1400
	Senkrecht nach oben	Frei stehend	Einhändig, waagrechte Griffe	1200
	Waagrecht, parallel zur Symmetrieebene des Körpers rückwärts, ziehend	Stehend, Füße parallel oder in Schreitstellung	Beidhändig, senkrechte Griffe	1100
	Waagrecht, parallel zur Symmetrieebene des Körpers vorwärts, schiebend	Stehend, Füße parallel oder in Schreitstellung	Beidhändig, senkrechte Griffe	1300
	Waagrecht, normal zur Symmetrieebene des Körpers schiebend	Stehend, Torso seitlich gebogen	Schulter auf Metall-platte drückend	1300
	Waagrecht, normal zur Symmetrieebene des Körpers schiebend	Stehend, Füße parallel	Einhändig, senkrechter Griff	700

Schlüsseltransfersysteme

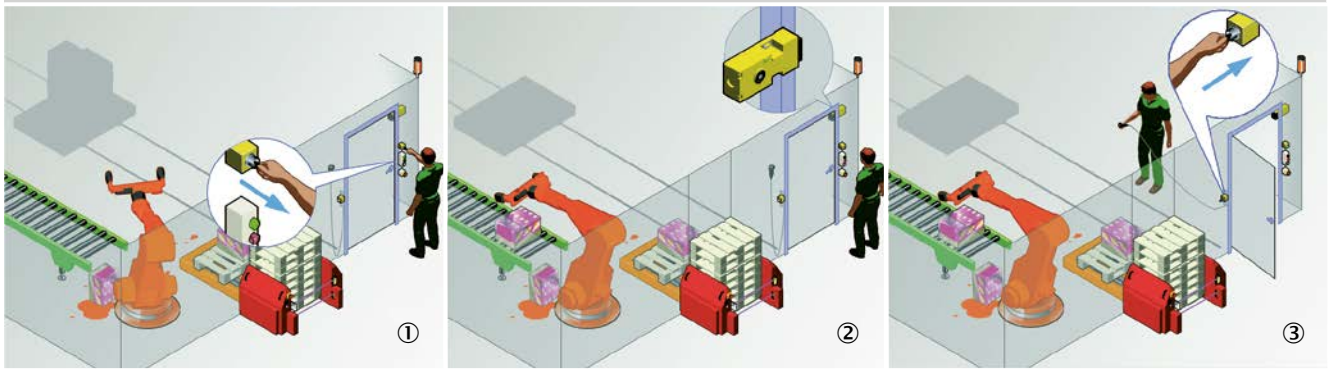
Trennende Schutzeinrichtungen haben den Nachteil, dass bei Eintritt in den Gefahrbereich und nachfolgendem Schließen der Schutzeinrichtung ein Wiederanlauf nicht wirksam verhindert werden kann. Zusätzliche Maßnahmen sind notwendig, wie eine Rücksetzeinrichtung oder das Sperren des Betätigers einer Verriegelungseinrichtung vom Bauart 2 mit einen Bügelschloss. Diese organisatorischen Maßnahmen sind aber abhängig vom Willen oder von der Aufmerksamkeit des Anwenders.

Eine Möglichkeit, einen Start zwangsläufig zu verhindern, bieten Schlüsseltransfersysteme. Um bestimmte Funktionen und Betriebsarten zu aktivieren, müssen Schlüssel verwendet werden, die bei bestimmten Stellungen in den Schlüsselschaltern blockiert werden.

Beim Ziehen des Schlüssels (Abbildung ①) wird ein Stoppsignal erzeugt und der Gefahr bringende Zustand beendet.

Im sicheren Zustand (bei Stillstand) kann die Tür geöffnet werden (Abbildung ②). Im Innenbereich ermöglicht der aufgesteckte Schlüssel die Betriebsart „Einrichtbetrieb“ (Abbildung ③) und „Gefahr bringende Maschinenbewegungen“ (Roboter zur Seite drehen) mittels Zustimmtaster. Der Automatikbetrieb wird so lange blockiert.

Beispiel: Schlüsseltransfersystem



8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS)

Bei berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) beruht die Schutzwirkung im Gegensatz zu den „trennenden Schutzeinrichtungen“ nicht auf der physischen Trennung des Gefährdeten von der Gefährdung. Die Schutzwirkung wird durch eine zeitliche Trennung erreicht. Solange sich eine Person in einem definierten Bereich befindet, finden dort keine Gefahr bringenden Maschinenfunktionen statt. Wenn solche Funktionen bereits stattfinden, müssen diese angehalten werden. Dieses Anhalten benötigt eine gewisse Zeit, die sogenannte „Nachlaufzeit“.

Die BWS muss die Annäherung der Person an diesen Gefahrbereich rechtzeitig erkennen und je nach Applikation auch die Anwesenheit der Person im Gefahrbereich.

Die internationale Norm IEC 61496-1 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an BWS, unabhängig von deren Technologie oder Funktionsprinzip.

Welche Vorteile bieten berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen?

Wenn ein Bediener häufiger oder regelmäßig in eine Maschine eingreifen muss und dabei einer Gefahr ausgesetzt ist, ist der Einsatz von BWS anstatt (mechanischer) trennender Schutzeinrichtungen (Abdeckungen, Schutzzäune etc.) vorteilhaft durch:

- Reduzierung der Zugriffszeit (Bediener muss nicht auf das Öffnen der Schutzeinrichtung warten)
- Steigerung der Produktivität (Zeitersparnis beim Beschicken der Maschine)
- Verbesserung der Ergonomie des Arbeitsplatzes (Bediener muss nicht eine trennende Schutzeinrichtung betätigen)

Darüber hinaus werden Bediener und andere Personen gleichermaßen geschützt.

Vor welchen Gefährdungen schützen berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen nicht?

Da berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen keine physische Barriere darstellen, sind sie nicht in der Lage, Personen vor Emissionen, wie herausgeschleuderten Maschinenteilen, Werkstücken oder Spänen, ionisierender Strahlung, Hitze (thermischer Strahlung), Lärm, verspritzten Kühl- und Schmiermitteln etc. zu schützen. Der Einsatz von BWS ist ebenfalls nicht möglich an Maschinen, an denen lange Nachlaufzeiten nicht realisierbare Mindestabstände erfordern.

In solchen Fällen müssen trennende Schutzeinrichtungen angewendet werden.

Technologien für BWS

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen können die Erkennung von Personen durch verschiedene Prinzipien realisieren: optisch, kapazitiv, Ultraschall, Mikrowellen und passive Infraroterfassung.

Optische Schutzeinrichtungen haben sich seit vielen Jahren und in großer Stückzahl in der Praxis bewährt (siehe Abbildung).

Optoelektronische Schutzeinrichtungen

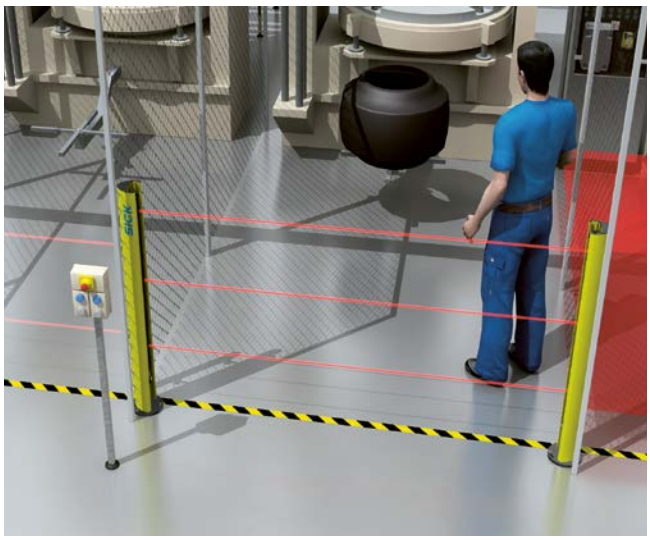
Die verbreitetsten berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen sind optoelektronische Einrichtungen, wie

- Sicherheits-Lichtvorhänge und -Lichtschranken (AOPD: active opto-electronic protective devices)
- Sicherheits-Laserscanner (AOPDDR: active opto-electronic protective devices responsive to diffuse reflection)
- Kamerabasierte Schutzeinrichtungen (VBPD: vision based protective devices)

Beispiele für optoelektronische Schutzeinrichtungen

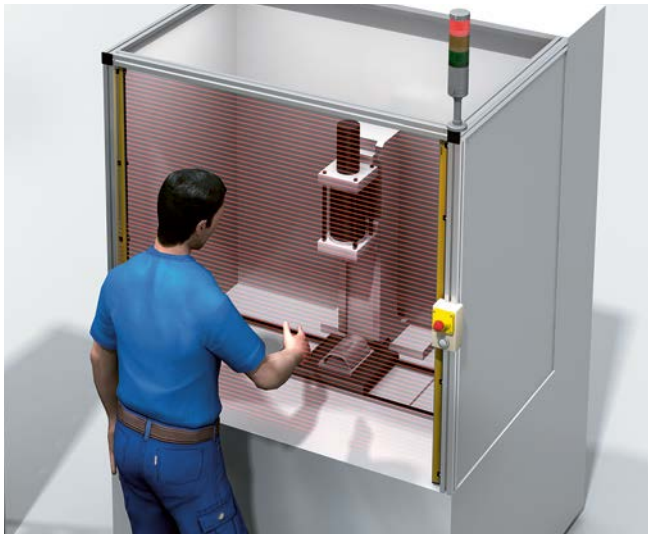
Eine optoelektronische Schutzeinrichtung kann verwendet werden, wenn der Bediener keinerlei Gefahr der Verletzung durch herausgeschleuderte Materialteile ausgesetzt ist (z. B. durch Spritzer geschmolzenen Materials).

Sicherheits-Lichtvorhänge und -Lichtschranken (AOPD)
AOPD sind Schutzeinrichtungen, die durch optoelektronische Sende- und Empfangselemente in einem vorgegebenen zweidimensionalen Bereich Personen detektieren. Eine Reihe paralleler Lichtstrahlen (in der Regel Infrarotlicht), die vom Sender zum Empfänger gesendet werden, bauen ein Schutzfeld auf, das den Gefahrbereich absichert. Die Detektion erfolgt durch die vollständige Unterbrechung eines oder mehrerer Strahlen durch ein lichtundurchlässiges Objekt. Dabei signalisiert der Empfänger die Strahlunterbrechung durch einen Signalwechsel (Aus-Zustand) an seinen Schaltausgängen (OSSD).
Die Signale der OSSD werden zum Anhalten des Gefahr bringenden Maschinenzustands verwendet.
Die internationale Norm IEC 61496-2 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an AOPD.
Typische AOPD sind Ein- und Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranken sowie Sicherheits-Lichtvorhänge. Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranken werden AOPD mit einem Detektionsvermögen genannt, das größer als 40 mm ist. Sie werden zur Absicherung von Zugängen zu Gefahrbereichen angewendet (siehe Abbildung).



Zugangsabsicherung mit einer Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranke

AOPD mit einem Detektionsvermögen von 40 mm oder weniger werden Sicherheits-Lichtgitter oder Sicherheits-Lichtvorhänge genannt und dienen der unmittelbaren Absicherung von Gefahrstellen (siehe Abbildung).


Gefahrstellenabsicherung mit einem Sicherheits-Lichtvorhang

Bei Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranken sowie Sicherheits-Lichtvorhängen sind in der Regel nicht alle Lichtstrahlen zum gleichen Zeitpunkt aktiviert, sondern werden in schneller Folge nacheinander ein- und ausgeschaltet. Dies erhöht die Störfestigkeit gegenüber anderen Lichtquellen und demzufolge die Zuverlässigkeit. Bei modernen AOPD synchronisieren sich Sender und Empfänger automatisch auf optischem Weg.
Durch die Verwendung von Mikroprozessoren können die Strahlen einzeln ausgewertet werden. Dadurch können neben der reinen Schutzfunktion auch zusätzliche Funktionen der BWS realisiert werden (➜ 3-40).

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Sicherheits-Laserscanner (AOPDDR)

AOPDDR sind Schutzeinrichtungen, die durch optoelektronische Sende- und Empfangselemente die Reflexion der optischen Strahlung detektieren, die die Schutzeinrichtung erzeugt. Diese Reflexion wird durch ein Objekt in einem vorgegebenen zweidimensionalen Bereich erzeugt.

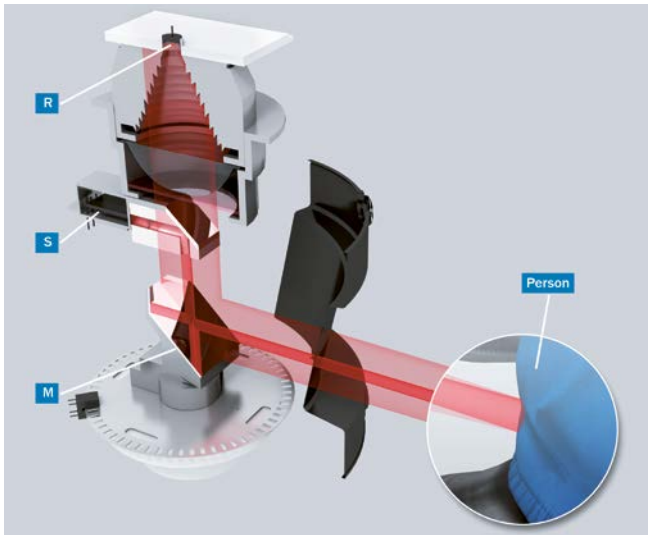
Durch einen Signalwechsel (Aus-Zustand) an seinen Schaltausgängen (OSSD) wird die Detektion signalisiert.

Die Signale der OSSD werden zum Anhalten des Gefahr bringenden Maschinenzustands verwendet.

Der Sicherheits-Laserscanner ist ein optischer Sensor, der die Umgebung mit infraroten Laserstrahlen in einer Ebene abtastet und dadurch einen Gefahrbereich an einer Maschine oder einem Fahrzeug überwacht.

Er arbeitet nach dem Prinzip der Lichtlaufzeitmessung (siehe Abbildung nächste Seite). Dabei sendet der Scanner sehr kurze Lichtimpulse aus (S). Gleichzeitig läuft eine „elektronische Stoppuhr“ mit. Trifft das Licht auf ein Objekt, so wird es reflektiert und vom Scanner empfangen (R). Aus der Differenz zwischen Sende- und Empfangszeitpunkt errechnet der Scanner die Entfernung zum Objekt.

Ein gleichmäßig rotierender Spiegel (M) im Scanner lenkt die Lichtimpulse ab, sodass ein Kreisausschnitt überstrichen wird. Aus der gemessenen Entfernung und dem jeweiligen Drehwinkel des Spiegels bestimmt der Scanner die genaue Position des Objekts.



Prinzipieller Aufbau eines Laserscanners

Der Bereich, in dem eine Objekterkennung zur Auslösung führt (Schutzfeld), kann vom Anwender programmiert werden. Moderne Geräte erlauben die gleichzeitige Überwachung mehrerer Bereiche oder die Umschaltung dieser Bereiche während des Betriebs. Dies kann z. B. zur Anpassung des Überwachungsbereichs an die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs verwendet werden.

Sicherheits-Laserscanner arbeiten mit präzise in bestimmte Richtungen einzeln abgestrahlten Lichtimpulsen, überstreichen also nicht kontinuierlich den zu überwachenden Bereich. Durch diese Arbeitsweise werden Auflösungen (Detektionsvermögen) zwischen 30 mm und 150 mm erreicht. Durch das aktive Tastprinzip benötigen Sicherheits-Laserscanner weder externe Empfänger noch Reflektoren. Sicherheits-Laserscanner müssen auch Objekte mit einem extrem niedrigen Rückstrahlvermögen sicher detektieren können (z. B. schwarze Arbeitskleidung). Die internationale Norm IEC 61496-3 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an AOPDDR.

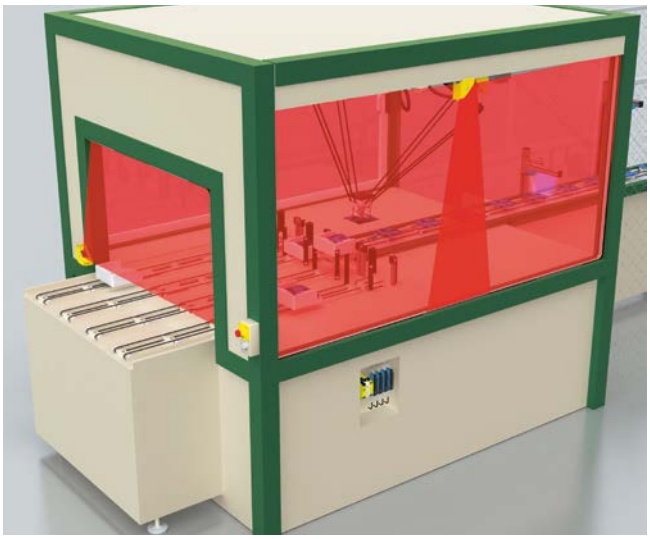
Kamerabasierte Schutzeinrichtungen (VBPD)

VBPD sind kamerabasierte Schutzeinrichtungen und verwenden Technologien der Bilderfassung und Bildverarbeitung zur sicherheitstechnischen Detektion von Personen (siehe Abbildung).

Als Lichtquellen werden zurzeit spezielle Lichtsender verwendet. VBPD, die das vorhandene Umgebungslicht verwenden, sind ebenfalls möglich.

Zur Personendetektion können verschiedene Prinzipien verwendet werden, u. a.:

- Unterbrechung des Lichts, das von einem Retroreflektor zurückgestrahlt wird
- Laufzeitmessung des Lichts, das vom Objekt reflektiert wird
- Überwachung von Änderungen von Hintergrundmustern
- Erkennung von Personen anhand menschlicher Merkmale



Kamerabasierte Schutzeinrichtung

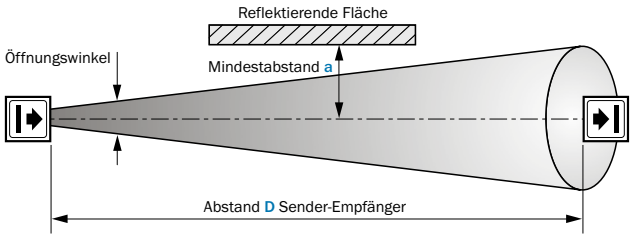
Die zukünftige internationale Normenreihe IEC 61496-4 wird die sicherheitstechnischen Anforderungen an VBPD beinhalten.

Detektionsvermögen (Auflösung) optoelektronischer Schutzeinrichtungen

Das Detektionsvermögen wird definiert als die Grenze des Sensorparameters, die ein Ansprechen der berührungslos wirkenden Schutzeinrichtung (BWS) verursacht.
Praktisch handelt es sich hierbei um die Größe des kleinsten Objekts, das innerhalb des definierten Überwachungsbereichs (Schutzfeld) von der BWS immer erkannt wird.
Das Detektionsvermögen wird vom Hersteller angegeben. Es wird in der Regel aus der Summe von Strahlabstand und effektivem Strahldurchmesser ermittelt. Dadurch ist sichergestellt, dass ein Objekt mit dieser Größe unabhängig von der Position im Schutzfeld immer einen Lichtstrahl vollständig abdeckt und somit erkannt wird.

Bei Sicherheits-Laserscannern (AOPDDR) ist das Detektionsvermögen vom Abstand zum Objekt, dem Winkel zwischen den einzelnen Lichtstrahlen (Pulse) sowie von Form und Größe des Sendestrahls abhängig.
Die Zuverlässigkeit des Detektionsvermögens wird durch die Typ-Klassifizierung in der Normenreihe IEC 61496 bestimmt. Für AOPDDR ist der Typ 3 definiert. Für AOPD sind die Typen 2 und 4 definiert (Anforderungen siehe Tabelle).
Dabei spielen Anforderungen gegenüber optischen Störquellen (Sonnenlicht, verschiedene Lampenarten, Geräte gleicher Bauart etc.), gegenüber reflektierenden Flächen, bei Fehlausrichtung im Normalbetrieb und an diffuse Reflexion bei Sicherheits-Laserscannern eine wichtige Rolle.

	Typ 2	Typ 4
Funktionale Sicherheit	Zwischen den Testintervallen ist bei Auftreten eines Fehlers ein Verlust der Schutzfunktion möglich	Auch bei Auftreten von mehreren Fehlern bleibt die Schutzfunktion erhalten
EMV (elektromagnetische Verträglichkeit)	Grundanforderungen	Erhöhte Anforderungen
Maximaler Öffnungswinkel der Optik	10°	5°
Mindestabstand **a** zu reflektierenden Flächen auf einen Abstand **D** von < 3 m	262 mm	131 mm
Mindestabstand **a** zu reflektierenden Flächen auf einen Abstand **D** von > 3 m	= Distanz x tan (10°/2)	= Distanz x tan (5°/2)
Mehrere Sender der gleichen Bauart in einer Anlage	Keine speziellen Anforderungen (Strahlcodierung wird empfohlen)	Keine Beeinflussung oder OSSDs schalten bei Beeinflussung aus

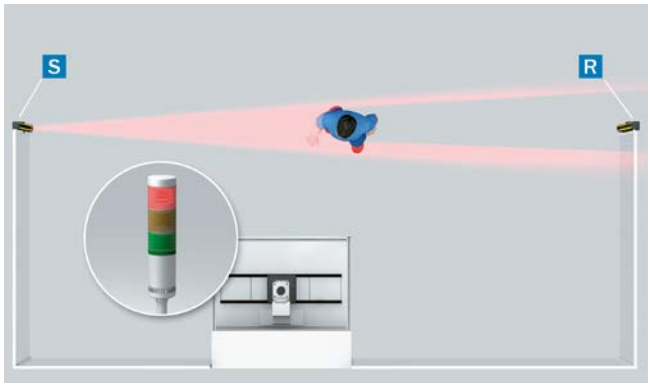


Hauptunterschiede von AOPD des Typs 2 und des Typs 4 nach IEC 61496

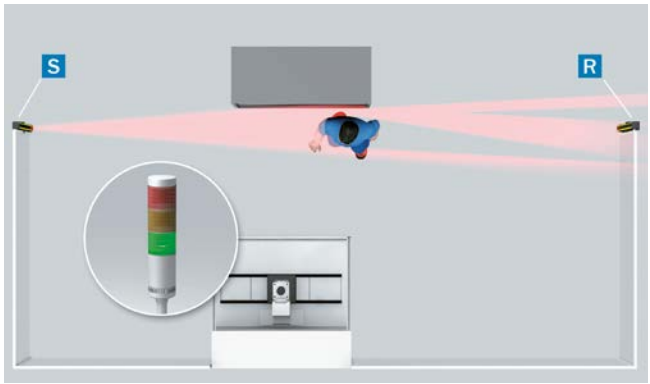
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Vermeidung der Umspiegelung von AOPD

Bei AOPD wird der Lichtstrahl vom Sender fokussiert. Dabei ist der Öffnungswinkel der Optik so weit wie möglich verringert, sodass auch bei kleinen Ausrichtfehlern ein störungsfreier Betrieb gewährleistet ist. Gleiches gilt für den Öffnungswinkel des Empfängers (effektiver Öffnungswinkel gemäß IEC 61496-2). Auch bei kleineren Öffnungswinkeln besteht die Möglichkeit, dass Lichtstrahlen des Senders von reflektierenden Flächen abgelenkt werden, was zum Nichterkennen eines Objekts führt (siehe Abbildungen).



Die Person wird zuverlässig detektiert und die Gefahr bringende Bewegung wird gestoppt.

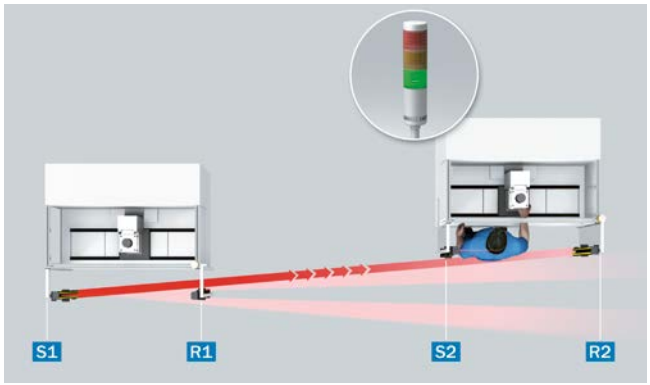


Durch Umspiegelung wird die Schutzwirkung der BWS aufgehoben und die Gefahr bringende Bewegung nicht gestoppt.

Deshalb müssen alle reflektierenden Flächen und Gegenstände (z. B. Materialbehälter, reflektierende Böden) einen Mindestabstand a zum Schutzfeld des Systems einhalten (siehe Tabelle „Hauptunterschiede von AOPD des Typs 2 und des Typs 4 nach IEC 61496“ ➜ 3-32).
Dieser Mindestabstand **a** ist abhängig vom Abstand **D** zwischen Sender und Empfänger (Schutzfeldbreite). Der Mindestabstand muss nach allen Seiten zum Schutzfeld eingehalten werden.

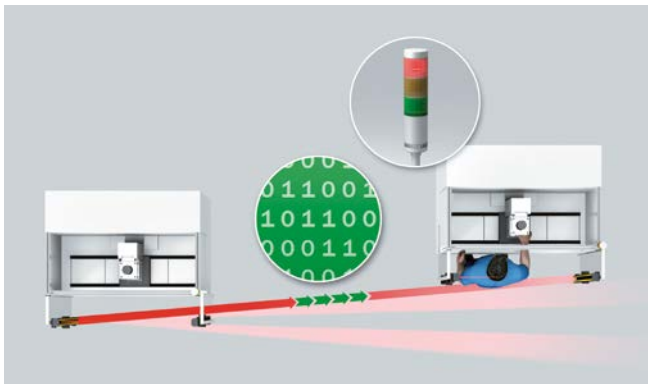
Gegenseitige Beeinflussung von AOPD

Wenn mehrere AOPD räumlich nahe beieinander arbeiten, können die Senderstrahlen des einen Systems (S1) den Empfänger des anderen Systems (R2) beeinflussen. Es besteht die Gefahr, dass die so beeinflusste AOPD dadurch keine Schutzwirkung mehr hat (siehe Abbildung).

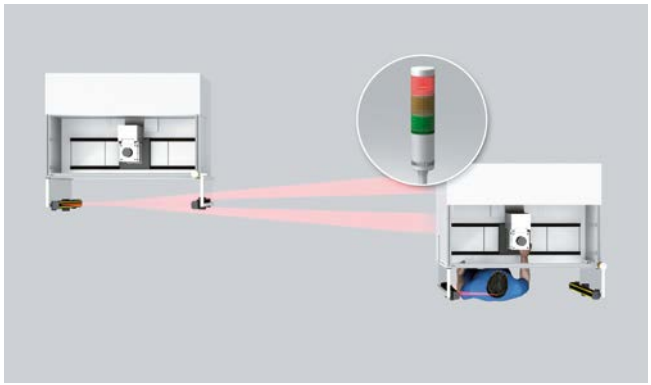


Durch gegenseitige Beeinflussung wird die Schutzwirkung der BWS aufgehoben und die Gefahr bringende Bewegung nicht gestoppt.

Derartige Montagesituationen müssen vermieden werden. Falls es nicht anders möglich ist, müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, die die gegenseitige Beeinflussung verhindern, z. B. durch Montage lichtundurchlässiger Trennwände oder durch Umkehren der Senderichtung eines Systems.
AOPD vom Typ 4 müssen entweder über eine geeignete Fremdsendererkennung verfügen und bei Beeinflussung in einen sicheren Zustand (Ausgänge im Aus-Zustand) übergehen oder über technische Maßnahmen verfügen, die eine Beeinflussung verhindern. In der Regel wird eine Strahlcodierung verwendet, sodass der Empfänger nur auf die Lichtstrahlen des zugeordneten (gleich codierten) Senders reagiert (siehe Abbildungen).



Keine gegenseitige Beeinflussung der Schutzeinrichtungen durch Verwendung von Lichtstrahlcodierung – Person wird zuverlässig detektiert und die Gefahr bringende Bewegung gestoppt.



Keine gegenseitige Beeinflussung der Schutzeinrichtungen durch geeignete Anordnung

Auswahl einer geeigneten BWS

Kriterien können sein:

- Vorgaben aus harmonisierten Normen, insbesondere C-Normen
- der zur Verfügung stehende Platz vor dem Gefahrbereich
- ergonomische Kriterien, z. B. zyklische Einlegearbeiten
- Auflösungsvermögen

Welche Sicherheitsfunktion soll die BWS erfüllen?

- Stopp auslösen (➜ 3-3)
- Unerwarteten Anlauf vermeiden (➜ 3-4)
- Start verhindern (➜ 3-4)
- Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern (➜ 3-4)
- Materialdurchfahrt ermöglichen (➜ 3-5)
- Maschinenparameter überwachen (➜ 3-5)
- Sicherheitsrelevante Anzeigen und Alarme (➜ 3-7)
- Weitere Funktionen, z. B. Taktbetrieb, Ausblendung, Schutzfeldumschaltung etc. (➜ 3-40)

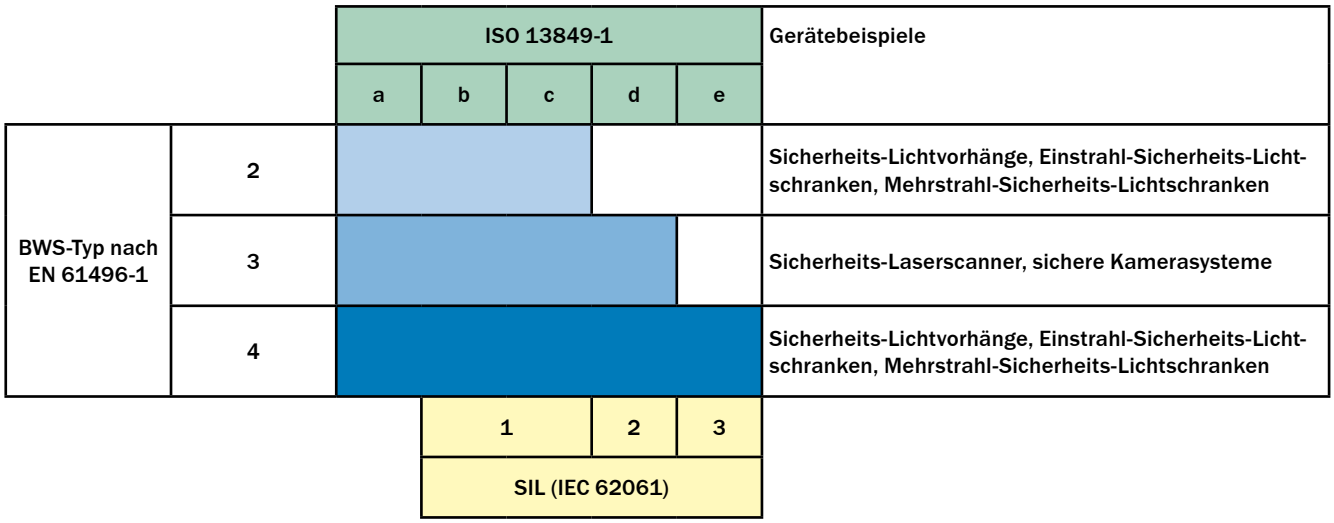
Sicherheitsniveau

Die sicherheitstechnischen Kenngrößen sind für BWS in der Typ-Klassifizierung (Typ 2, Typ 3, Typ 4) umgesetzt.
Neben strukturellen Aspekten (Kategorien nach ISO 13849-1) sind in der Typ-Klassifizierung auch einzuhaltende Anforderungen hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), der Umweltbedingungen und des optischen Systems definiert. Hierzu zählt insbesondere das Verhalten gegenüber Störquellen (Sonne, Lampen, Geräte gleicher Bauart etc.) und auch der Öffnungswinkel der Optiken bei Sicherheits-Lichtvorhängen oder Sicherheits-Lichtschranken (die Anforderungen an eine Typ-4-AOPD sind höher als an eine Typ-2-AOPD).

Der Öffnungswinkel ist entscheidend, um den Mindestabstand gegenüber reflektierenden Flächen zu ermitteln (Tabelle ➜ 3-32).

➜ Anforderungen an BWS: IEC 61496-1, IEC 61496-2, IEC 61496-3

Erreichbare Zuverlässigkeit von Sicherheitsfunktionen mit optoelektronischen Schutzeinrichtungen

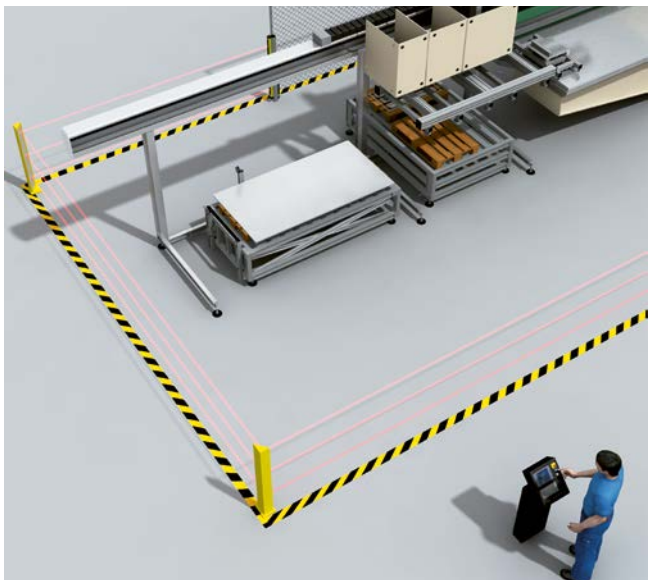


Beachten Sie stets die in den Betriebsanleitungen der optoelektronischen Schutzeinrichtungen enthaltenen weiteren Anwendungshinweise, Informationen und Anweisungen!

Was soll von der BWS detektiert werden?

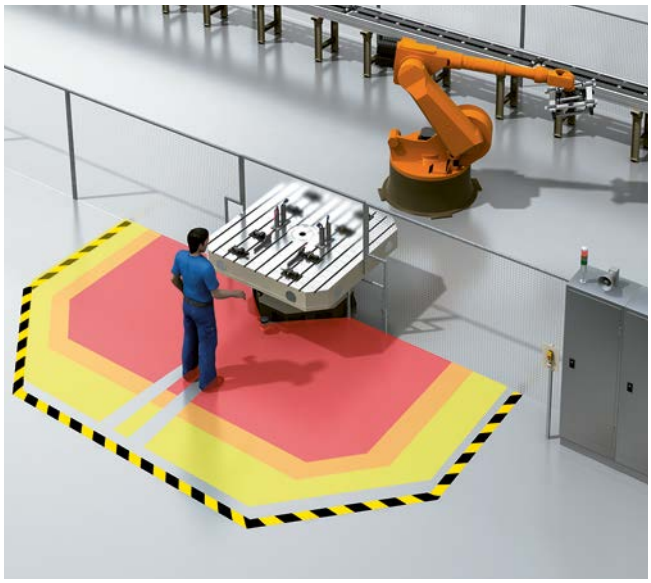
Gefahrstellenabsicherung:
Finger- oder Handerkennung
Bei der Gefahrstellenabsicherung wird die Annäherung sehr nahe an der Gefahrstelle detektiert.
Der Vorteil dieser Art von Schutzeinrichtung liegt darin, dass ein kurzer Mindestabstand möglich ist und der Bediener ergonomischer arbeiten kann (z. B. bei Einlegearbeiten an einer Presse).

Zugangsabsicherung:
Erkennen einer Person beim Zugang zum Gefahrbereich
Bei der Zugangsabsicherung wird die Annäherung einer Person durch Detektion des Körpers erreicht.
Diese Art der Schutzeinrichtung dient der Absicherung des Zugangs zu einem Gefahrbereich. Bei Eintreten in den Gefahrbereich wird ein Stopp-Signal ausgelöst. Eine Person, die die Schutzeinrichtung hintertreten hat, wird von der BWS nicht erkannt!



8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Gefahrbereichsabsicherung:
Erkennen der Anwesenheit einer Person im Gefahrbereich
Bei der Gefahrbereichsabsicherung wird die Annäherung der Person durch deren Detektion innerhalb eines Bereichs erkannt.
Diese Art der Schutzeinrichtung ist für Maschinen geeignet, bei denen z. B. ein Gefahrbereich von der Rücksetztaste aus nicht vollständig eingesehen werden kann. Beim Eintreten in den Gefahrbereich wird ein Stopp-Signal ausgelöst und ein Start verhindert.



Mobile Gefahrbereichsabsicherung:
Erkennen der Annäherung einer Person an den Gefahrbereich
Die Gefahrbereichsabsicherung eignet sich für FTS (fahrerlose Transportsysteme), Kräne und Stapler, um Personen während der Bewegung der Fahrzeuge oder beim Andocken der Fahrzeuge an eine feste Station zu schützen.

In BWS integrierbare Sicherheitsfunktionen

Die folgenden Sicherheitsfunktionen können entweder in die Logikeinheit oder auch direkt in geeignete BWS integriert werden.

Zeitlich begrenzte Überbrückung (Muting)

Die Muting-Funktion (Überbrückung) erlaubt das zeitlich begrenzte Deaktivieren der Schutzfunktion einer Schutzeinrichtung. Diese wird benötigt, wenn Material durch das Schutzfeld der Schutzeinrichtung bewegt werden muss, ohne den Arbeitsablauf (Gefahr bringender Maschinenzustand) anzuhalten.
Sie kann auch sinnvoll eingesetzt werden, um den Arbeitsablauf zu optimieren, wenn bestimmte Maschinenzustände dies ermöglichen (z. B. Überbrückung der Funktion eines Sicherheits-Lichtvorhangs während des ungefährlichen Hochlaufens eines Pressenstößels, wodurch dem Bediener eine leichtere Werkstückentnahme ermöglicht wird).
Muting darf nur möglich sein, wenn der Zugang zur Gefahrstelle durch das durchfahrende Material blockiert wird. Bei nicht hintertretbaren (nicht passierbaren) Schutzeinrichtungen hingegen darf Muting nur möglich sein, wenn keine Gefahr bringenden Maschinenfunktionen stattfinden (siehe Abbildung). Dieser Zustand wird durch Muting-Sensoren bzw. -Signale festgestellt.
Für die Muting-Funktion ist große Sorgfalt bei der Auswahl und Positionierung der Muting-Sensoren und der verwendeten Steuerungssignale notwendig.

Muting-Funktion mit Sicherheits-Lichtvorhang und Muting-Sensoren an einer Folienwickelmaschine

Folgende Bedingungen sind einzuhalten, um eine sichere und normgerechte Muting-Funktion zu implementieren:

- Während des Mutings muss ein sicherer Zustand durch andere Mittel sichergestellt sein, d. h., ein Zugang zum Gefahrbereich darf nicht möglich sein.
- Muting muss automatisch und darf nicht manuell erfolgen.
- Muting darf nicht von einem einzelnen elektrischen Signal abhängig sein.
- Muting darf nicht vollständig von Softwaresignalen abhängig sein.
- Muting-Signale dürfen keinen Muting-Zustand erlauben, wenn sie im Verlauf einer ungültigen Kombination auftreten.
- Der Muting-Zustand muss sofort nach dem Durchfahren des Materials aufgehoben werden.

Zur Verbesserung der Unterscheidungsqualität können zusätzliche Grenzwerte, Verknüpfungen oder Signale verwendet werden, z. B.:

- Bewegungsrichtung des Materials (Sequenz der Muting-Signale)
- Begrenzung der Muting-Dauer
- Materialanforderung durch die Maschinensteuerung
- Betriebszustand der fördertechnischen Elemente (z. B. Förderband, Rollenförderer)
- Materialerkennung durch zusätzliche Eigenschaften (z. B. Barcode)

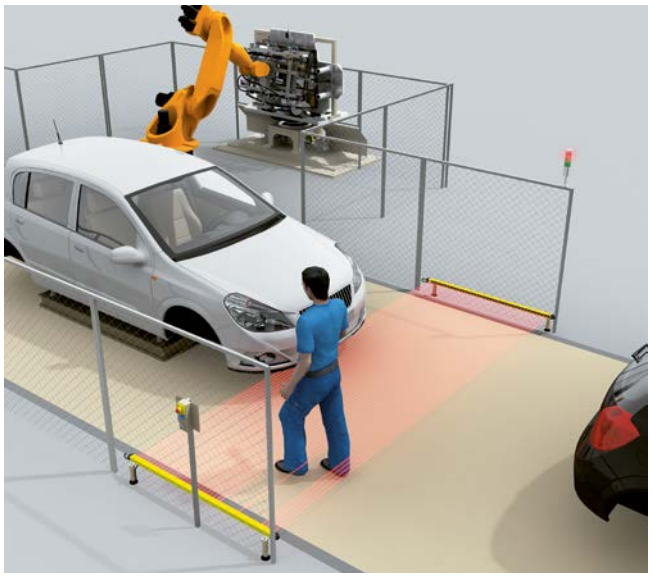
→ Praktische Anwendung von BWS: IEC / TS 62046

Sicherheits-Lichtvorhänge mit Entry-Exit-Funktion

Eine weitere Möglichkeit, Material in einen abgesicherten Bereich zu bewegen, ist die aktive Unterscheidung zwischen Mensch und Material (Entry-Exit-Funktion).

Bei dieser Applikation werden horizontal angeordnete Sicherheits-Lichtvorhänge (AOPD) angewendet. Hier wird die Möglichkeit genutzt, jeden Lichtstrahl einzeln auszuwerten, um das Unterbrechungsmuster des Materials oder Materialträgers (z. B. Palette) von dem einer Person zu unterscheiden.

Durch Anwendung selbstlernender, dynamischer Ausblendung sowie weiterer Unterscheidungskriterien wie Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Ein- und Austritt im Schutzfeld etc. kann eine sicherheitsrelevante Unterscheidung erzielt werden. Dadurch wird ein unerkanntes Eindringen von Personen in den Gefahrbereich zuverlässig verhindert (siehe Abbildung).



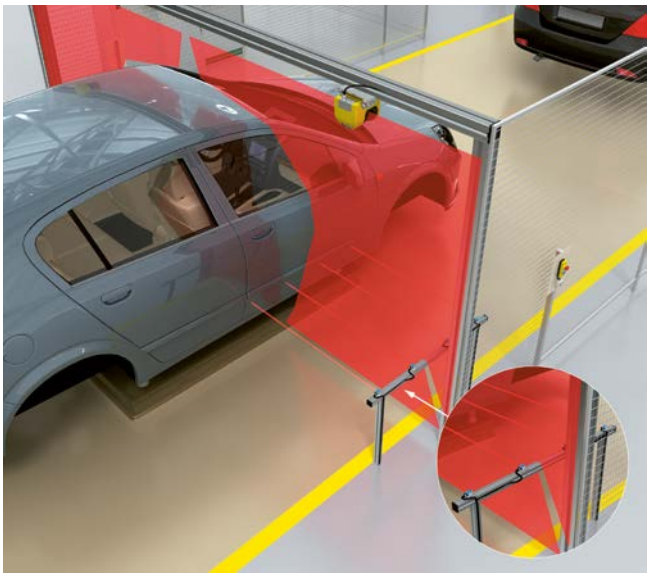
Entry-Exit-Funktion mit horizontal angeordnetem Sicherheits-Lichtvorhang in einer Bearbeitungsstation einer Automobilfertigungstraße

Sicherheits-Laserscanner mit Schutzfeldumschaltung

Eine alternative Möglichkeit, Material in einen abgesicherten Bereich zu bewegen, ist die aktive Umschaltung von Schutzfeldern.

In der Regel werden bei dieser Applikation Sicherheits-Laserscanner mit senkrechten (auch leicht geneigten) Schutzfeldern angewendet.

Durch geeignete Signale aus der Maschinensteuerung und aus entsprechend positionierten Sensoren wird aus einer Reihe von vorprogrammierten Schutzfeldern das geeignete Schutzfeld aktiviert. Die Schutzfeldkontur wird so gestaltet, dass die Durchfahrt des Materials nicht zum Ansprechen der Schutzeinrichtung führt, aber die nicht überwachten Bereiche ausreichend klein sind, um das unerkannte Eindringen von Personen in den Gefahrbereich zu verhindern (siehe Abbildung).

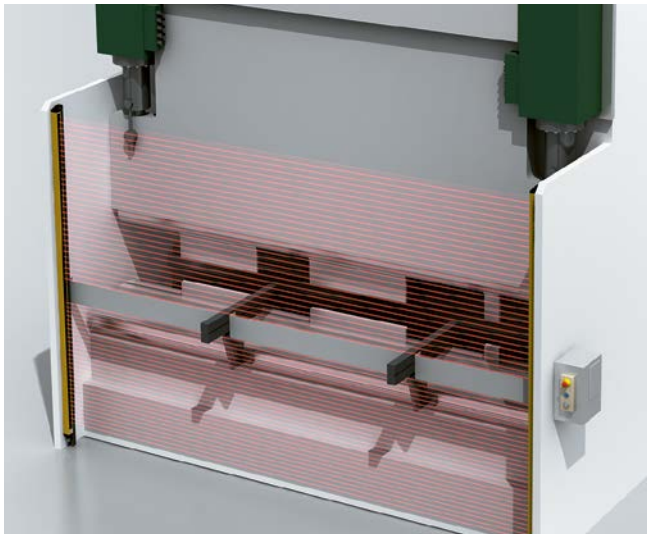


Materialdurchfahrt mit Sicherheits-Laserscannern, senkrechten Schutzfeldern und Schutzfeldumschaltung mit geeignet angeordneten Sensoren

Zusätzliche Funktionen von BWS

Ausblendung (Blanking)

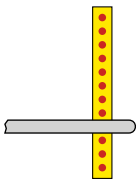
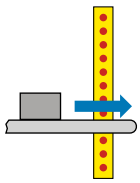
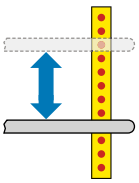
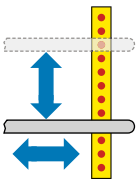
Bei vielen AOPD kann die Konfiguration des Detektionsvermögens und/oder des Schutzfelds so gestaltet werden, dass die Anwesenheit von einem oder mehreren Objekten innerhalb eines definierten Teils des Schutzfelds nicht zur Auslösung der Sicherheitsfunktion (Aus-Zustand) führt. Die Ausblendung kann verwendet werden, um bestimmte Objekte durch das Schutzfeld hindurchzuführen, z. B. Schlauch für Kühlschmiermittel, Rutsche bzw. Träger für Werkstücke (siehe Abbildung).



Feste Ausblendung von Strahlen eines Lichtvorhangs an einer Abkantpresse

Im ausgeblendeten Bereich vergrößert (verschlechtert) sich das Detektionsvermögen der BWS. Berücksichtigen Sie die entsprechenden Angaben des Herstellers bei der Berechnung des Mindestabstands.

Bei der **festen Ausblendung** wird der ausgeblendete Bereich in Größe und Position fest definiert. Bei der **beweglichen Ausblendung** wird nur die Größe des ausgeblendeten Bereichs festgelegt, nicht aber die Lage im Schutzfeld (siehe Abbildung).

Feste Ausblendung		**Bewegliche Ausblendung**	
Feste Ausblendung	Feste Ausblendung mit erhöhter Größentoleranz	Bewegliche Ausblendung mit vollständiger Objektüberwachung	Bewegliche Ausblendung mit teilweiser Objektüberwachung
Ein Objekt *fester* Größe *muss* sich an einer bestimmten Stelle im Schutzfeld befinden.	Von der Bedienerseite *darf* sich ein Ojekt *begrenzter* Größe durch das Schutzfeld bewegen.	Ein Objekt fester Größe *muss* sich innerhalb eines bestimmten Bereichs im Schutzfeld befinden. Das Objekt darf sich bewegen.	Ein Objekt fester Größe *darf* sich innerhalb eines bestimmten Bereichs im Schutzfeld befinden. Das Objekt darf sich bewegen.
			

Kriterien für feste und bewegliche Ausblendung

Um Lücken im Schutzfeld zu vermeiden, kann die Abwesenheit (oder in einigen Fällen eine Änderung der Größe oder der Position) des Objekts genutzt werden, um die Sicherheitsfunktion auszulösen (Aus-Zustand).

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Taktbetrieb

Als Taktbetrieb wird die Verwendung der Schutzeinrichtung zum Auslösen der Maschinenfunktion (steuernde Schutzeinrichtung) bezeichnet. Diese Betriebsart ist vorteilhaft, wenn Teile zyklisch von Hand eingelegt bzw. entnommen werden. Taktbetrieb darf normgerecht nur mit AOPD vom Typ 4 und einer wirksamen Auflösung d ≤ 30 mm ausgeführt werden. Im Taktbetrieb wartet die Maschine an einer definierten Position auf eine angegebene Anzahl von Eingriffen des Bedieners. Der Sicherheits-Lichtvorhang gibt die Gefahr bringende Bewegung nach einer bestimmten Anzahl von Unterbrechungen automatisch wieder frei.

Unter folgenden Bedingungen ist ein Rücksetzen der BWS erforderlich:

- beim Maschinenstart
- beim Wiederanlauf, wenn die AOPD innerhalb einer Gefahr bringenden Bewegung unterbrochen wird
- wenn innerhalb der vorgegebenen Taktzeit kein Takt ausgelöst wurde

Es ist notwendig, zu prüfen, dass während des Arbeitsprozesses keine Gefährdung für den Bediener entstehen kann. Dies begrenzt die Verwendung dieser Betriebsart auf Maschinen, bei denen der Gefahrbereich nicht begehbar und es dem Bediener nicht möglich ist, unerkannt zwischen Schutzfeld und Maschine zu verbleiben (Hintertretschutz).

1-Takt-Betrieb bedeutet, dass die AOPD die Maschinenfunktion auslöst, nachdem der Bediener den Eingriff beendet hat.

2-Takt-Betrieb bedeutet, dass die AOPD die Maschinenfunktion nach dem ersten Eingreifen des Bedieners (z. B. Entnahme eines bearbeiteten Werkstücks) im verriegelten Zustand belässt. Erst wenn der Bediener den zweiten Eingriff beendet hat (z. B. Zuführen eines Rohlings), gibt die AOPD die Maschinenfunktion wieder frei.

Taktbetrieb wird oft an Pressen und Stanzen angewendet, kann aber auch an anderen Maschinen verwendet werden (z. B. an Drehtischen, Montageautomaten). Bei der Anwendung des Taktbetriebs darf der Lichtvorhang nicht hintertretbar sein. Bei Pressen gelten für den Taktbetrieb besondere Bedingungen.

1-Takt-Betrieb an einem Montageautomaten mit Sicherheits-Lichtvorhang. Beim Einlegen befindet sich das Werkzeug im oberen Punkt. Nach Freigabe des Schutzfelds durch den Bediener wird der Montageprozess eingeleitet.

Für Taktbetrieb muss die Auflösung der AOPD feiner oder gleich 30 mm sein (Finger- oder Handerkennung).

➜ Taktauslösung: B-Normen ISO 13855, IEC 61496-1
➜ Taktbetrieb an Pressen: C-Normen EN 692, EN 693

Ortsbindende Schutzeinrichtungen

Ortsbindende Schutzeinrichtungen sind nicht trennende Schutzeinrichtungen, die eine Person oder einzelne Körperteile an einen Ort außerhalb des Gefahrbereichs binden.

Eine vollständige und gute Übersicht über ortsbindende Schutzeinrichtungen findet man in:
→ Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer-Verlag, Berlin u. a., ISBN 978-3-642-33889-2 (5. Auflage 2013)

Zweihandeinrichtungen

Eine Zweihandeinrichtung schützt immer nur eine Person! Bei mehreren Bedienern muss jede Person eine Zweihandeinrichtung betätigen. Eine Gefahr bringende Bewegung darf nur durch bewusstes beidhändiges Betätigen der Zweihandeinrichtung ausgelöst werden und muss stoppen, sobald eine Hand die Einrichtung loslässt.

Es gibt verschiedene Typen von Zweihandeinrichtungen. Die unterscheidenden Merkmale sind die Ausprägung der Bedienteile sowie die steuerungstechnischen Anforderungen.

Folgende Grundsatzprinzipien gelten für alle Typen:

- Die Benutzung beider Hände muss sichergestellt sein.
- Das Loslassen eines der beiden Bedienteile beendet die Gefahr bringende Bewegung.
- Versehentliches Betätigen muss verhindert werden.
- Es ist kein einfaches Umgehen der Schutzwirkung möglich.
- Die Zweihandeinrichtung darf nicht in den Gefahrbereich mitgenommen werden können.

Für Zweihandeinrichtungen vom Typ II und Typ III gilt zusätzlich:

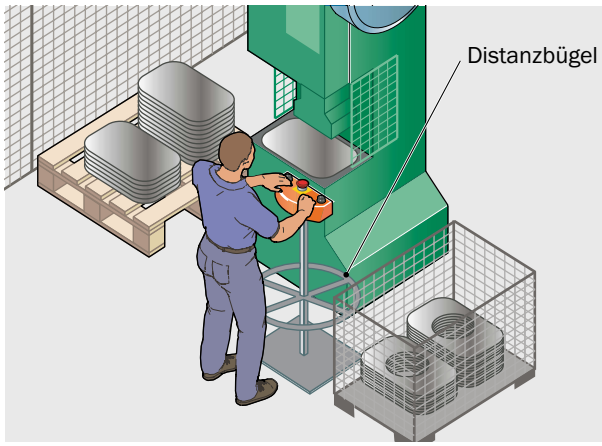
- Das Einleiten einer erneuten Bewegung darf erst nach Loslassen beider Bedienteile und anschließender Betätigung erfolgen.

Für Zweihandeinrichtungen vom Typ III gilt zusätzlich:

- Das Einleiten einer Bewegung darf nur erfolgen, wenn beide Bedienteile innerhalb von 0,5 Sekunden synchron betätigt wurden.

Für Zweihandeinrichtungen vom Typ III sind Untertypen mit detaillierten steuerungstechnischen Anforderungen definiert. Die wichtigsten Untertypen sind:

- Typ III A: Auswertung eines Schließers pro Bedienteil (2 Eingänge)
- Typ III C: Auswertung eines Schließers und Öffners pro Bedienteil (4 Eingänge)



→ Anforderungen an Zweihandeinrichtungen: ISO 13851 (B-Norm)

→ Berechnung des Mindestabstands für Zweihandeinrichtungen → 3-52

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Zustimmeinrichtungen

Beim Einrichten, bei der Instandhaltung und bei einer notwendigen nahen Beobachtung von Fertigungsabläufen müssen Funktionen der Schutzeinrichtungen u. U. zeitweilig aufgehoben werden. Neben anderen Maßnahmen, die das Risiko minimieren (verminderte Kraft bzw. Geschwindigkeit etc.), sind hierfür Befehlseinrichtungen nötig, die für die Dauer der Aufhebung betätigt werden müssen. Eine Möglichkeit hierfür sind Zustimmeinrichtungen.
Zustimmeinrichtungen sind körperlich betätigte Befehlsgeräte, mit denen die Zustimmung des Bedieners zu Maschinenfunktionen eingeholt wird. Als Zustimmeinrichtungen werden in der Regel Drucktaster oder Fußschalter verwendet.
Als zusätzliche Startsteuerung zur Zustimmeinrichtung bieten sich Joysticks oder Tipptaster an. Industriell bewährt und daher zu empfehlen sind dreistufige Zustimmeinrichtungen.

3 c

Der Maschinenstart darf nicht allein durch das Betätigen einer Zustimmeinrichtung ausgelöst werden. Vielmehr wird eine Bewegung nur so lange zugelassen, wie die Zustimmeinrichtung betätigt ist.

Funktionsweise der dreistufigen Zustimmeinrichtung:

Stellung	Stellteil	Funktion
1	Nicht betätigt	Aus
2	In Mittelstellung (Druckpunkt)	Zustimmen
3	Über Mittelstellung hinaus	Not-Halt (Aus)

Beim Wechsel von der Stellung 3 in die Stellung 2 zurück darf die Zustimmfunktion nicht freigegeben werden.
Sind Zustimmeinrichtungen in Stellung 3 mit gesonderten Kontakten ausgeführt, sollten diese in den Not-Halt-Schaltkreis eingebunden werden.

Auch beim Einsatz von Zustimmeinrichtungen ist die Manipulationssicherheit von hoher Bedeutung.

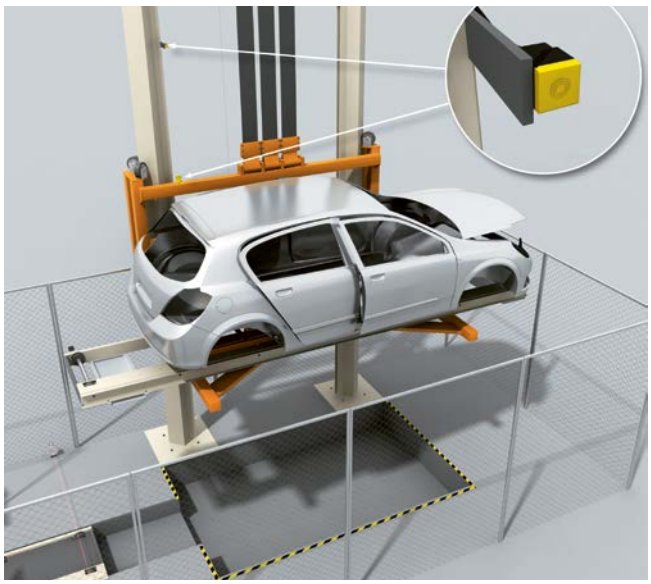
→ Anforderungen an Zustimmeinrichtungen: IEC 60204-1 (B-Norm)

Sensorik für die Überwachung von Maschinenparametern

Die Risikobeurteilung kann ergeben, dass bestimmte Maschinenparameter im Betrieb überwacht und erfasst werden müssen.

Sichere Positionsüberwachung

Wenn eine Maschine eine bestimmte Position nicht überfahren oder verlassen soll, können hierfür sicherheitsgerichtete Sensoren oder Positionsschalter verwendet werden (➜ 3-19). Besonders geeignet für diese Aufgabe sind berührungslos wirkende, sicherheitsgerichtete induktive Positionsschalter. Diese überwachen ohne besonderes Gegenstück verschleißfrei und mit hoher Schutzart einen bestimmten Teil einer Roboterachse oder eines beweglichen Maschinenteils auf Anwesenheit.

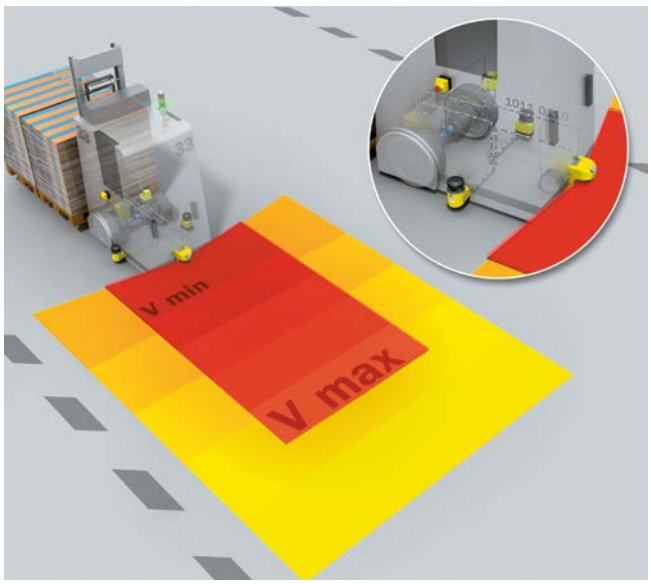


Sichere Positionsüberwachung eines Lifts in einer Automobilfertigungsstraße

Überwachung von Drehzahl, Geschwindigkeit, Nachlauf

Drehgeber oder Wegmesssysteme ermöglichen eine Erfassung und Auswertung von Drehzahl, Geschwindigkeit oder Nachlauf. Bei fahrerlosen Transportsystemen können die Signale von Drehgebern verwendet werden, um die Schutzfeldgröße von Sicherheits-Laserscannern an die Fahrgeschwindigkeit anzupassen.

Sichere Stillstands- oder Drehwächtermodule überwachen die Bewegung von Antrieben mittels Sensoren oder Drehgebern, um bei Stillstand oder beim Abweichen von eingestellten Parametern ein sicheres Steuersignal zu erzeugen. Bei höheren sicherheitstechnischen Anforderungen sind entweder sicherheitsgerichtete oder redundante Geber anzuwenden. Eine weitere Möglichkeit ist, die Spannung zu überwachen, die von einem austrudelnden Motor durch Restmagnetisierung induziert wird.



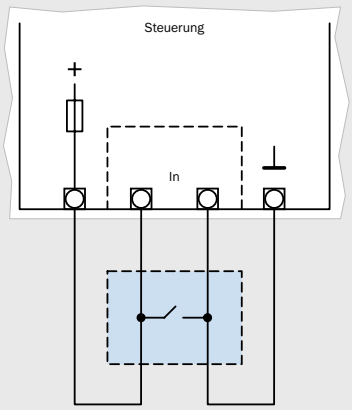
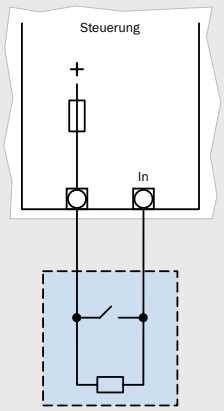
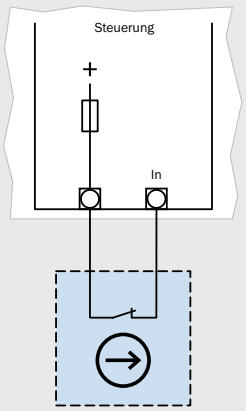
Geschwindigkeitsüberwachung zur Schutzfeldumschaltung an einem fahrerlosen Transportfahrzeug

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Schaltmatten, Schaltleisten, Bumper

In einigen Anwendungsfällen können druckempfindliche Schutzeinrichtungen sinnvoll sein. Das Funktionsprinzip beruht in den meisten Fällen auf einer elastischen Verformung eines Hohlkörpers, der dafür sorgt, dass ein interner Signalgeber (elektromechanisch oder optisch) die Sicherheitsfunktion ausführt.

Die üblichen elektromechanisch wirkenden Systeme gibt es in unterschiedliche Ausführungen.
Die richtige mechanische Ausgestaltung und Integration ist in allen Fällen für eine wirksame Schutzfunktion unbedingt einzuhalten. Das Erkennen von Kindern mit einen Körpergewicht unter 20 kg wird in den Produktnormen für Schaltmatten und Schaltplatten nicht behandelt.

Kurzschlussbildende Ausführungen (Arbeitsstromprinzip)		Zwangsöffnende Ausführung
4-Draht-Variante	Widerstandsvariante	(Ruhestromprinzip)
		
Hier kommt es bei Aktivierung der Schutzeinrichtung zu einem Kurzschluss. Bei der 4-Draht-Ausführung wird ein Stromkreis kurzgeschlossen (wenige Ohm). Bei der Widerstandsvariante wird eine Änderung zu einem Soll-Widerstandswert (im Bereich kOhm) detektiert. Diese Ausführungsformen benötigen eine aufwendigere Auswertung.		Diese Ausführungsform ist universeller und vorteilhafter. Die Aktivierung der Schutzeinrichtung führt zum Öffnen des Schaltkontakts. Durch spezielle Leitungsverlegung ist ein Kurzschluss zwischen den Leitungen ausgeschlossen.

→ Gestaltung druckempfindlicher Schutzeinrichtungen: B-Norm ISO 13856 (Normenreihe)

Fußschalter

Fußschalter werden zum Steuern von Arbeitsabläufen eingesetzt. Fußschalter dürfen an einigen Maschinen (z. B. an Pressen, Stanzen, Biege- und Blechbearbeitungsmaschinen) nur in separaten Betriebsarten und nur in Verbindung mit anderen technischen Schutzmaßnahmen (z. B. langsame Geschwindigkeit) für Sicherheitsfunktionen genutzt werden.

Diese sind dann aber speziell auszuführen:

- mit Schutzhaube gegen unbeabsichtigtes Betätigen
- in dreistufiger Ausführung analog dem Zustimmschalterprinzip (siehe „Funktionsweise der dreistufigen Zustimmeinrichtung“ → 3-43).
- mit der Möglichkeit zur manuellen Rückstellung (per Hand) bei Betätigung des Stellteils über den Druckpunkt
- nachdem die Gefahr bringende Bewegung gestoppt wurde, darf ein erneutes Einschalten per Fuß erst nach Loslassen des Fußschalters und erneuter Betätigung erfolgen
- Auswertung von mindestens einem Schließer- und einem Öffnerkontakt
- bei mehreren Bedienpersonen muss jede Person einen Fußschalter betätigen

Ergänzende Schutzmaßnahmen

Erforderlichenfalls müssen weitere Schutzmaßnahmen vorgesehen werden, die weder inhärent sichere Konstruktionen noch technische Schutzmaßnahmen sind.
Solche ergänzenden Schutzmaßnahmen sind u. a.:

- Einrichtungen zum Stillsetzen im Notfall
- Maßnahmen zur Befreiung und Rettung eingeschlossener Personen
- Maßnahmen zur Energietrennung und Energieableitung (➜ 2-4 und 2-5)
- Vorkehrungen für die leichte und sichere Handhabung von Maschinen und schweren Teilen
- Maßnahmen für sicheren Zugang zu Maschinen

Wenn diese ergänzenden Maßnahmen von der korrekten Funktion entsprechender Steuerungsteile abhängig sind, sind sie „Sicherheitsfunktionen“ und die Anforderungen der funktionalen Sicherheit sind zu erfüllen (siehe Kapitel „Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf“ ➜ 3-65).

Handlungen im Notfall

Not-Halt (Stillsetzen im Notfall)
Im Notfall müssen nicht nur alle Gefahr bringenden Bewegungen angehalten, sondern alle Energiequellen sicher abgeleitet werden, von denen eine Gefährdung ausgeht, wie z. B. gespeicherte Energien. Diese Handlung wird mit Not-Halt bezeichnet. Jede Maschine – bis auf die in der Maschinenrichtlinie beschriebenen Ausnahmen – muss mit mindestens einer Not-Halt-Einrichtung ausgerüstet sein.

- Not-Halt-Einrichtungen müssen leicht erreichbar sein.
- Not-Halt muss den Gefahr bringenden Zustand schnellstmöglich beenden, ohne dass zusätzliche Risiken entstehen.
- Der Not-Halt-Befehl muss gegenüber allen anderen Funktionen und Befehlen in allen Betriebsarten Vorrang haben.
- Das Rückstellen der Not-Halt-Einrichtung darf keinen Wiederanlauf einleiten.
- Das Prinzip der direkten Betätigung mit mechanischer Verrastfunktion muss angewendet werden.
- Der Not-Halt muss entsprechend Stopp-Kategorie 0 oder 1 erfolgen (➜ 2-9).

Not-Aus (Ausschalten im Notfall)
Wenn die Möglichkeit von Gefährdungen oder Beschädigungen durch elektrische Energie besteht, dann sollte Not-Aus vorgesehen werden. Hierbei wird die Energieeinspeisung mit elektromechanischen Schaltgeräten abgeschaltet.

- Die Energieeinspeisung darf erst nach Rückstellen aller Not-Aus-Befehle eingeschaltet werden können.
- Das Not-Aus hat Stopp-Kategorie 0 zur Folge (➜ 2-9).

Rücksetzen
Wenn ein Gerät für Handlungen im Notfall betätigt wird, dann müssen hierdurch ausgelöste Einrichtungen im Aus-Zustand verbleiben, bis das Gerät für Handlungen im Notfall zurückgesetzt wurde.
Das Rücksetzen von Befehlsgeräten muss manuell vor Ort erfolgen. Dabei darf nur das Wiederingangsetzen der Maschine vorbereitet werden.

Not-Halt und Not-Aus sind ergänzende Schutzmaßnahmen und kein Mittel zur Risikominderung für Gefährdungen an Maschinen.

Anforderungen und Ausführungsformen
Die Kontakte der verwendeten Befehlsgeräte müssen zwangsöffnend sein. Die Bedienteile müssen rot sein, ein vorhandener Hintergrund muss gelb sein. Es können eingesetzt werden:

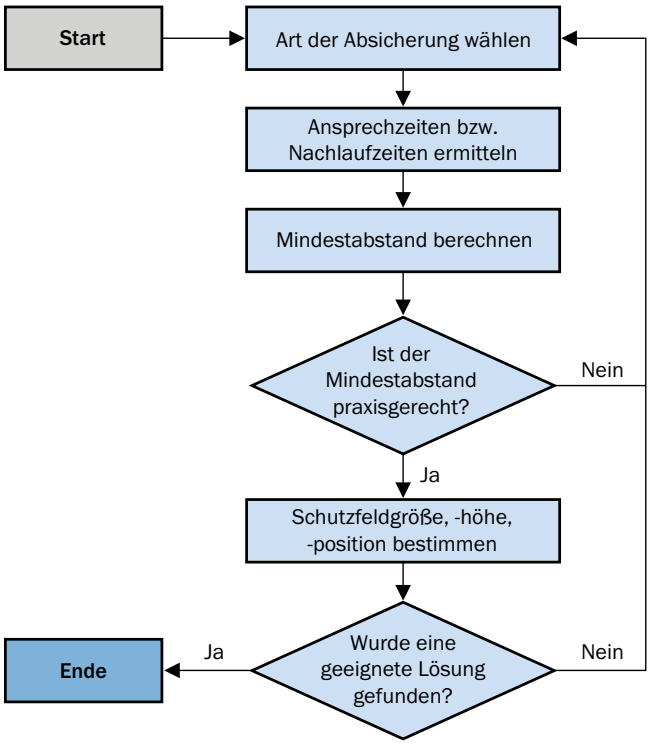
- mit Pilzdrucktasten betätigte Schalter
- mit Drähten, Seilen oder Schienen betätigte Schalter
- Fußschalter ohne Haube (für Not-Halt)
- Netztrenneinrichtung

Wenn Drähte und Seile als Stellteile für Not-Halt-Einrichtungen verwendet werden, dann müssen diese so konzipiert und angebracht sein, dass sie leicht zu betätigen sind und die Funktion auslösen. Rückstelleinrichtungen sollten so angeordnet sein, dass die ganze Länge des Drahts oder des Seils vom Ort der Rückstelleinrichtung aus sichtbar ist.

➜ Gestaltungsleitsätze für Not-Halt-Einrichtungen: ISO 13850
➜ Stillsetzen im Notfall: Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

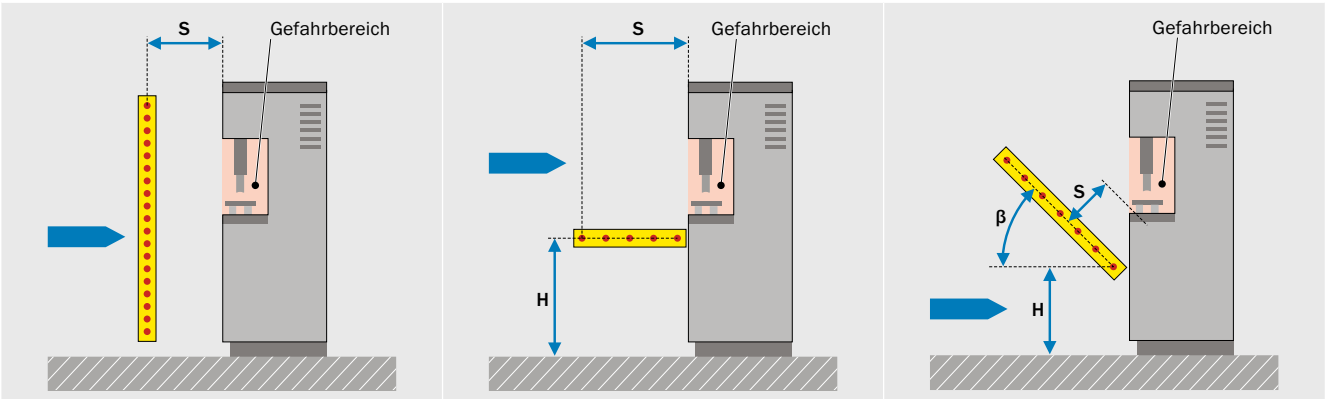
Positionieren bzw. Dimensionieren der Schutzeinrichtungen

Ein wesentlicher Aspekt bei der Auswahl der optimalen Schutzeinrichtung ist der verfügbare Platz. Es muss sichergestellt sein, dass noch rechtzeitig vor Erreichen der Gefahrstelle der Gefahr bringende Zustand aufgehoben ist.
Der notwendige Mindestabstand ist unter anderem auch von Größe und Ausprägung der Schutzeinrichtung abhängig.



Mindestabstand für BWS in Abhängigkeit von der Annäherung

Die Mindestabstandsbetrachtung gilt für BWS mit zweidimensionalem Schutzfeld, wie z. B. Lichtvorhänge, Lichtschranken (AOPD), Laserscanner (AOPDDR) oder zweidimensionale Kamerasysteme. Im Allgemeinen unterscheidet man drei Annäherungsarten.



Rechtwinklige Annäherung bzw. Eindringen im rechten Winkel zur Schutzfeldebene

Parallele Annäherung bzw. Eindringen parallel zur Schutzfeldebene

Winkelförmige Annäherung

Nachdem die den Stopp auslösende BWS ausgewählt wurde, ist der notwendige Mindestabstand zwischen dem Schutzfeld der BWS und der nächstliegenden Gefahrstelle zu berechnen.
Folgende Parameter sind zu berücksichtigen:

- Stoppzeit der Maschine
- Ansprechzeit der sicherheitsbezogenen Steuerung
- Ansprechzeit Schutzeinrichtung (BWS)
- Zuschläge abhängig vom Auflösungsvermögen der BWS, von der Schutzfeldhöhe und/oder Art der Annäherung

Wenn die minimale Entfernung zu groß und aus ergonomischer Sicht nicht akzeptabel ist, dann muss entweder die Gesamtstoppzeit der Maschine vermindert oder es muss eine BWS mit feinerer Auflösung verwendet werden. Ein mögliches Hintertreten ist zu verhindern.

→ Die Berechnung des Mindestabstands für eine BWS wird in der Norm ISO 13855 beschrieben (B-Normen).

Allgemeine Berechnungsformel

$$S = (K \times T) + C$$

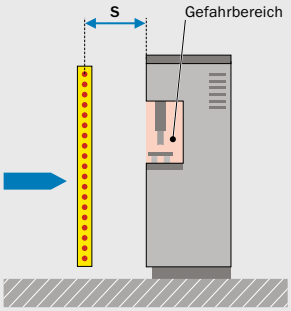
Dabei ist ...

- **S** der Mindestabstand in Millimetern, gemessen von der nächstliegenden Gefahrstelle zum Erkennungspunkt bzw. zur Erkennungslinie oder Erkennungsebene der BWS.
- **K** ein Parameter in Millimetern pro Sekunde, abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen.
- **T** die Nachlaufzeit des gesamten Systems in Sekunden.
- **C** der zusätzliche Abstand in Millimetern, der das Eindringen in den Gefahrbereich vor Auslösen der Schutzeinrichtung darstellt. Wenn das Schutzfeld der BWS nicht übergriffen werden kann, ist C vom Detektionsvermögen (Auflösung) der BWS abhängig und wird C_{RT} (reach through = Durchgreifen) genannt. Wenn das Schutzfeld der BWS übergriffen werden kann, ist C von der Schutzfeldhöhe der BWS abhängig und wird C_{RO} (reach over = Übergreifen) genannt.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Die folgende Tabelle enthält die Formeln zur Berechnung des Mindestabstands S abhängig von der Annäherung zum Schutzfeld.

Rechtwinklige Annäherung: β = 90° (± 5°)

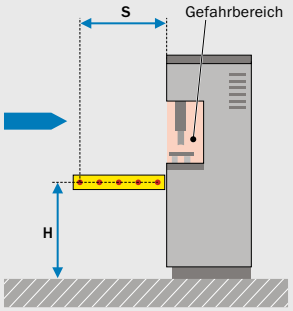


Schritt 1: Berechnung des Mindestabstands S

d ≤ 40 mm	S = 2000 × T + 8 × (d – 14) Wenn S > 500 mm, dann verwenden Sie: S = 1600 × T + 8 × (d –14). In diesem Fall darf S nicht < 500 mm sein.	Der Mindestabstand S darf nicht < 100 mm sein. C = 8 × (d – 14) ist hier der zusätzliche Abstand in Millimetern, der das Eindringen in den Gefahrbereich **vor** Auslösen der Schutzeinrichtung darstellt.
40 < d ≤ 70 mm	S = 1600 × T + 850	Höhe des untersten Strahls ≤ 300 mm Höhe des obersten Strahls ≥ 900 mm
d > 70 mm	S = 1600 × T + 850	**Anzahl Strahlen** / **Empfohlene Höhen** 4 / 300, 600, 900, 1200 mm 3 / 300, 700, 1100 mm 2 / 400, 900 mm (400 mm darf nur verwendet werden, wenn keine Gefahr des Unterkriechens besteht.)

Schritt 2: Berechnung der erforderlichen Höhe der Schutzfeldoberkante (➜ 3-57)

Parallele Annäherung: β = 0° (± 5°)



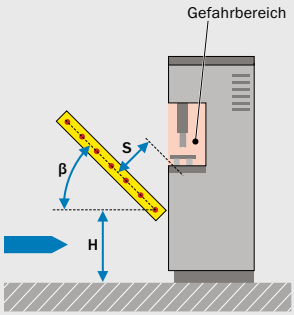
Schritt 1: Berechnung des Mindestabstands S

S = 1600 × T + (1200 – 0,4 × H) wobei C = (1200 – 0,4 × H) ≥ 850 mm	H ≤ 1000 mm

Schritt 2: Berechnung der erforderlichen Auflösung abhängig von der Schutzfeldhöhe

$d \leq \frac{H}{15} + 50$ mm	H ≤ 1000 mm d ≤ 117 mm

Winkelförmige Annäherung: 5° < β < 85°



β > 30°	Vgl. rechtwinklige Annäherung.	$d \leq \frac{H}{15} + 50$ mm bezieht sich auf den untersten Strahl.
β < 30°	Vgl. parallele Annäherung.	S wird auf den am weitesten vom Gefahrbereich entfernten Strahl angewendet, dessen Höhe ≤ 1000 mm ist.

S: Mindestabstand
H: Schutzfeldhöhe (Detektionsebene)
d: Auflösung der BWS
β: Winkel zwischen der Detektionsebene und der Annäherungsrichtung
T: Nachlaufzeit des gesamten Systems

Sonderfälle

Pressenanwendung
Abweichend von den allgemeinen Normen können in maschinenspezifischen C-Normen spezielle Vorgaben enthalten sein. Insbesondere für Pressen der Metallbearbeitung gilt Folgendes:

Berechnung des Zuschlags bei Pressen		
Auflösung d (mm) der BWS	**Zuschlag C (mm)**	**Hubauslösung durch BWS/Taktbetrieb**
d ≤ 14	0	Zulässig
14 < d ≤ 20	80	
20 < d ≤ 30	130	
30 < d ≤ 40	240	Nicht zulässig
> 40	850	

→ Pressennormen: EN 692/693 (C-Normen)

BWS für Hintertretschutz
Diese Art der Absicherung empfiehlt sich für große Anlagen, die vom Boden aus zugänglich sind. In diesem speziellen Fall muss verhindert werden, dass die Maschine anläuft (Sicherheitsfunktion „Start verhindern“), während sich ein Bediener im Innenraum befindet. Es handelt sich hierbei um eine sekundäre Schutzeinrichtung, die die Anwesenheit von Personen im Gefahrbereich erfasst und währenddessen das Ingangsetzen des Gefahr bringenden Maschinenzustands verhindert. Zusätzlich zur BWS für Hintertretschutz muss eine primäre Schutzmaßnahme für die Sicherheitsfunktion „Stopp auslösen“ vorhanden sein, z. B. in Form einer anderen BWS oder einer verriegelten, beweglichen trennenden Schutzeinrichtung. Der Mindestabstand muss in diesem Fall für die Hauptschutzeinrichtung berechnet werden (z. B. für einen vertikalen Lichtvorhang, der die Aufgabe hat, die Anlage zu stoppen).

Sicherheits-Laserscanner an einer Bearbeitungsstation als Sicherheitsfunktion Pos. 1, Stopp auslösen und Sicherheitsfunktion Pos. 2, Start verhindern (Hintertretschutz)

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

BWS-Anwendungen an Fahrzeugen

Wenn der Gefahr bringende Zustand von einem Fahrzeug ausgeht, dann wird bei der Bestimmung des Mindestabstands in der Regel die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs zugrunde gelegt und nicht die Annäherungsgeschwindigkeit der Person. Wenn sich das Fahrzeug (und somit die Schutzeinrichtung) und eine Person annähern, dann geht man im Normalfall davon aus, dass die Person die Gefahr erkennt und stehen bleibt oder sich entfernt. Der Mindestabstand muss also nur groß genug gewählt werden, um ein sicheres Anhalten des Fahrzeugs zu ermöglichen.
Abhängig von der Anwendung und der verwendeten Technologie können noch Sicherheitszuschläge notwendig sein.

Stationäre Anwendung einer mit dem Werkzeug mitfahrenden BWS

An manchen Maschinen sind funktionsbedingt Bediener sehr nah am Gefahrbereich. Bei Gesenkbiege- bzw. Abkantpressen müssen kleine Bleche nah der Biegekante gehalten werden. Als praxistaugliche Schutzeinrichtungen haben sich mitfahrende Systeme durchgesetzt, die rund um die Werkzeugöffnungen ein Schutzfeld bilden. Hier wird die Greifgeschwindigkeit nicht berücksichtigt, daher ist die allgemeine Formel nicht anwendbar.

Die Anforderungen an das Auflösungsvermögen sind sehr hoch und Umspiegelungen an den metallischen Oberflächen müssen ausgeschlossen werden. Daher finden hierfür fokussierte La-sersysteme mit kamerabasierter Auswertung Anwendung. In Verbindung mit anderen Maßnahmen (z. B. 3-Lagen-Fußschalter, automatische Nachlaufmessung, Handschuhpflicht etc.) ist diese Absicherungsart in den C-Normen festgelegt.

➜ Sicherheit von Gesenkbiegepressen: EN 12622 (C-Norm)

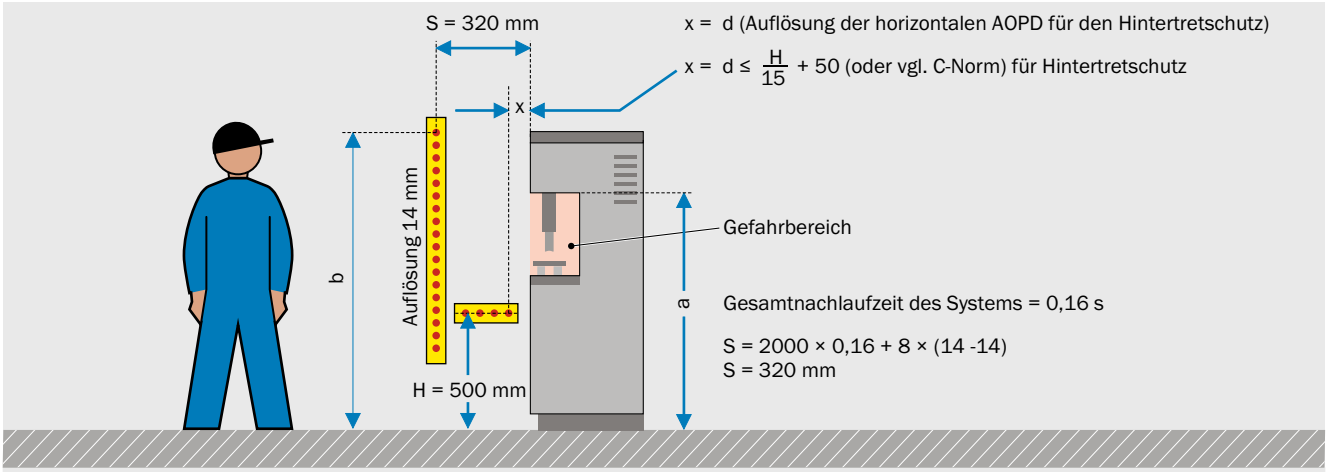
Die Messung der Nachlaufzeit und des notwendigen Mindestabstands erfordert besonderes Know-how und Equipment. SICK bietet diese Messungen als Dienstleistung an.

Beispiele zur Berechnung des Mindestabstands

Lösungsansatz 1: Rechtwinklige Annäherung – Gefahrstellenabsicherung mit Hintertretschutz

Die Berechnung, wie in der Abbildung dargestellt, ergibt einen Mindestabstand von S = 320 mm. Durch die Verwendung eines Sicherheits-Lichtvorhangs mit der bestmöglichen Auflösung ist dies bereits der optimale Mindestabstand.

Damit die Person überall im Gefahrbereich erfasst wird, werden zwei AOPD eingesetzt: eine senkrechte AOPD, die entsprechend dem errechneten Mindestabstand positioniert ist (senkrechte Annäherung), und eine horizontale AOPD, um die Gefahr des Hintertretens zu eliminieren.


S = 320 mm
x = d (Auflösung der horizontalen AOPD für den Hintertretschutz)
x = d ≤ H/15 + 50 (oder vgl. C-Norm) für Hintertretschutz
x
b
Auflösung 14 mm
Gefahrbereich
a
Gesamtnachlaufzeit des Systems = 0,16 s
S = 2000 × 0,16 + 8 × (14 -14)
S = 320 mm
H = 500 mm

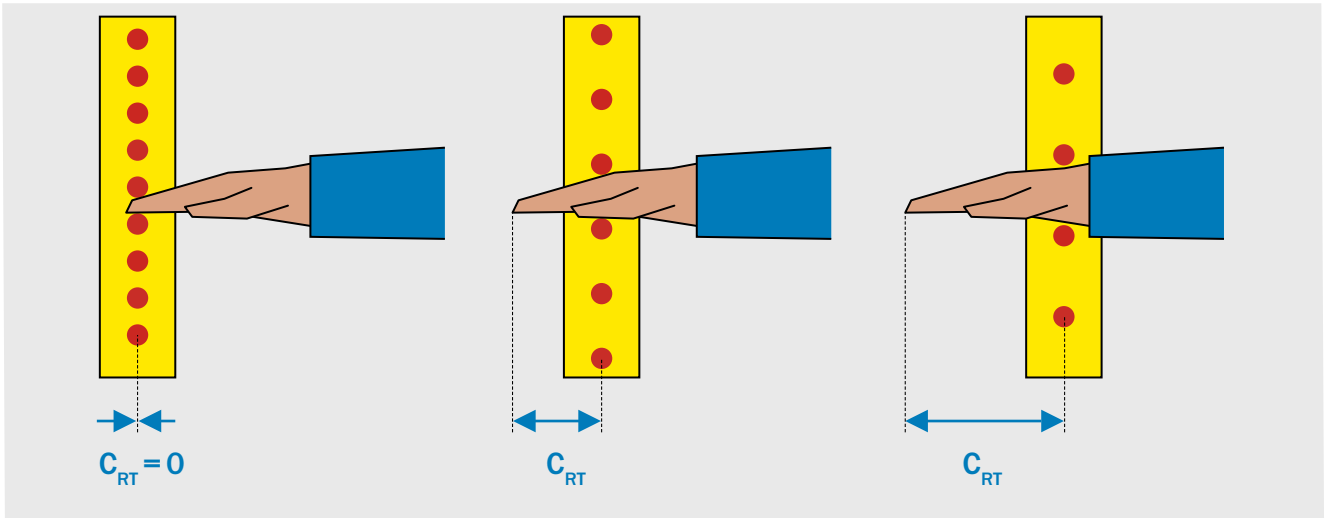
a = Höhe des Gefahrbereichs
d = Detektionsvermögen (Auflösung der AOPD)
H = Installationshöhe
S = Mindestabstand

x = Ende des Schutzfeldes bis zur Maschine
b = Höhe des obersten Strahls, Ermittlung siehe „Notwendige Schutzfeldgröße/-höhe der BWS“ ➜ 3-55

Auflösungsabhängiger Zuschlag C_{RT}

Je nach Detektionsfähigkeit (Auflösungsvermögen) der BWS ist es möglich, dass die BWS auslöst (eine Person erkennt), wenn bereits Körperteile das Schutzfeld durchdrungen haben.

Dies muss durch Hinzufügen des auflösungsabhängigen Zuschlags C_{RT} berücksichtigt werden.

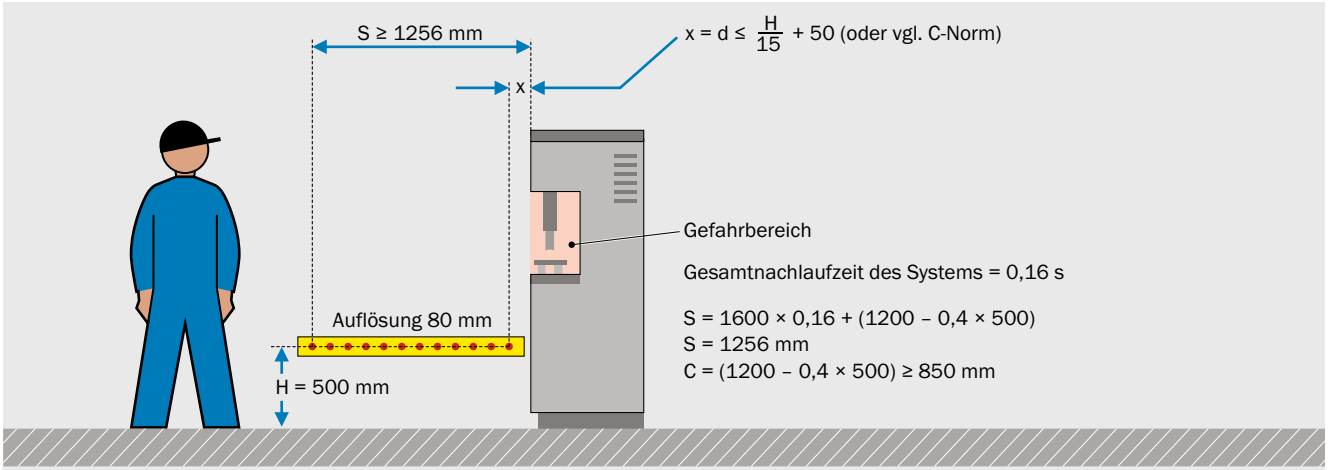


Die Abbildung zeigt beispielhaft das unerkannte Eindringen an Sicherheits-Lichtvorhängen mit unterschiedlichen Detektionsvermögen.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Lösungsansatz 2: Parallele Annäherung – Gefahrbereichsabsicherung

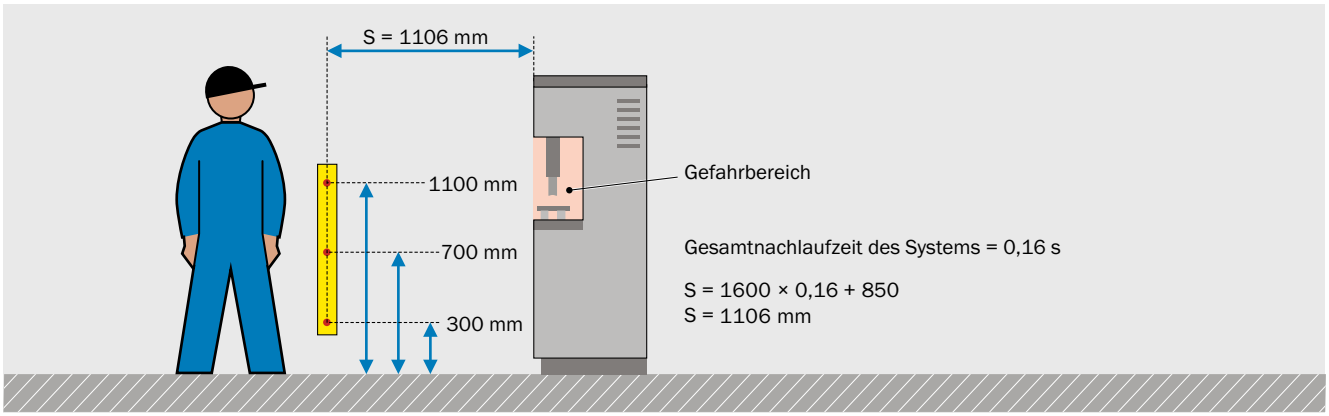
Eine horizontale AOPD wird eingesetzt. Die Abbildung unten zeigt die Berechnung des Mindestabstands S und die Positionierung der AOPD. Wenn die Installationshöhe der AOPD auf 500 mm erhöht wird, reduziert sich der Mindestabstand. Für diese Höhe kann eine AOPD mit einer Auflösung feiner oder gleich 80 mm eingesetzt werden. Unterhalb der AOPD darf jedoch kein Zugang in den Gefahrbereich möglich sein. Diese Absicherungsart wird häufig auch durch AOPDDR (Laserscanner) realisiert. Bei diesen Geräten sind jedoch technologiebedingte Zuschläge zu addieren.


S ≥ 1256 mm
x = d ≤ H/15 + 50 (oder vgl. C-Norm)
x
Gefahrbereich
Gesamtnachlaufzeit des Systems = 0,16 s
S = 1600 × 0,16 + (1200 – 0,4 × 500)
S = 1256 mm
C = (1200 – 0,4 × 500) ≥ 850 mm
Auflösung 80 mm
H = 500 mm

C = Zusätzlicher Abstand in Millimetern, der das Eindringen in den Gefahrbereich vor Auslösen der Schutzeinrichtung zugrunde legt
d = Detektionsvermögen (Auflösung der AOPD)
H = Istallationshöhe
S = Mindestabstand
x = Abstand vom Ende des Schutzfelds bis zur Maschine

Lösungsansatz 3: Zugangsabsicherung

Eine Zugangsabsicherung mit drei Strahlen (bei Höhen von 300 mm, 700 mm und 1100 mm) erlaubt eine senkrechte Annäherung. Diese Lösung lässt zu, dass ein Bediener sich unerkannt zwischen Gefahrbereich und AOPD befindet. Daher müssen zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden, um dieses Risiko zu mindern. So muss die Befehlseinrichtung (z. B. Rücksetztaste) so positioniert sein, dass der ganze Gefahrbereich eingesehen werden kann. Sie darf von dort aus nicht erreichbar sein.



Ergebnisübersicht

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Lösungen. Betriebliche Erfordernisse bestimmen die Wahl einer der folgenden Lösungen:

Lösungsansatz bei Nachlaufzeit = 0,16 s		Vorteile	Nachteile
1	**Gefahrstellenabsicherung** **S = 320 mm**	• Größere Produktivität, da der Bediener näher am Arbeitsprozess steht (kurze Wege) • Automatischer Start oder Taktbetrieb möglich • Geringster Platzbedarf	• Höherer Preis für die Schutzeinrichtung wegen des guten Auflösungsvermögens und Hintertretschutz
2	**Gefahrbereichsabsicherung** **S = 1256 mm**	• Automatischer Start möglich • Erlaubt die Absicherung des Zugangs unabhängig von der Höhe des Gefahrbereichs	• Der Bediener ist viel weiter entfernt (lange Wege) • Höherer Platzbedarf • Niedrigere Produktivität
3	**Zugangsabsicherung** **S = 1106 mm**	• Preisgünstigste Lösung • Erlaubt die Absicherung des Zugangs unabhängig von der Höhe des Gefahrbereichs • Absicherung mehrerer Seiten mit Umlenkspiegel möglich	• Der Bediener ist viel weiter entfernt (lange Wege) • Niedrigste Produktivität (Rücksetzen der BWS immer notwendig) • Das Risiko des Hintertretens ist zu berücksichtigen. Nicht zu empfehlen, wenn mehrere Personen am Arbeitsplatz arbeiten.

8008007/2015-07-07

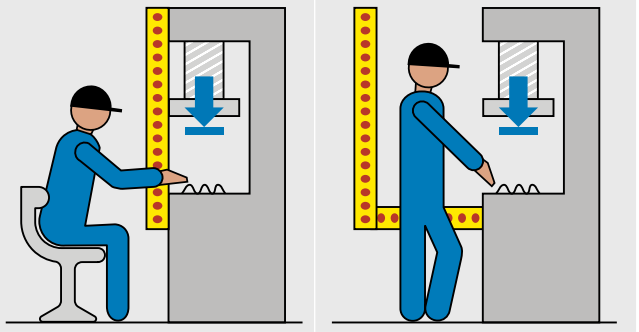
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Notwendige Schutzfeldgröße bzw. -höhe der BWS

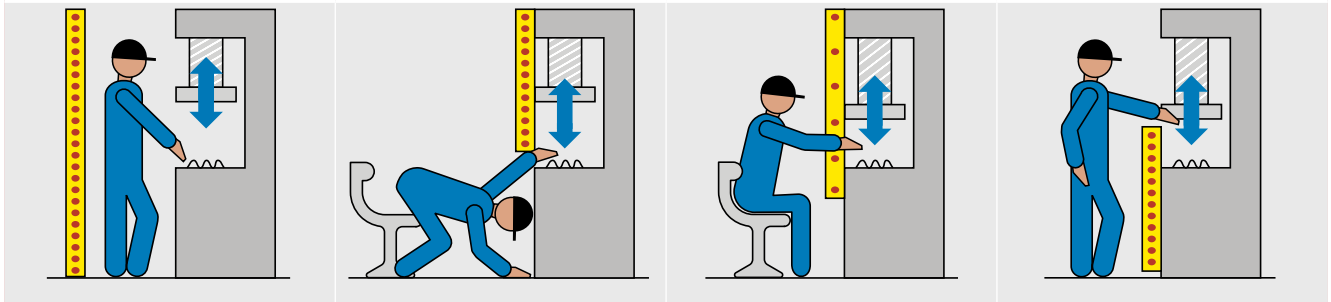
Allgemein müssen bei der Montage von Schutzeinrichtungen folgende Fehler ausgeschlossen sein:

- Die Gefahrstelle darf nur durch das Schutzfeld hindurch erreichbar sein.
- Insbesondere dürfen Gefahrstellen nicht durch Über-, Unter- oder Umgreifen erreichbar sein.
- Wenn Schutzeinrichtungen hintertretbar sind, müssen Zusatzmaßnahmen wirken (z. B. Wiederanlaufsperre, sekundäre Schutzeinrichtung).

Beispiele für richtige Montage



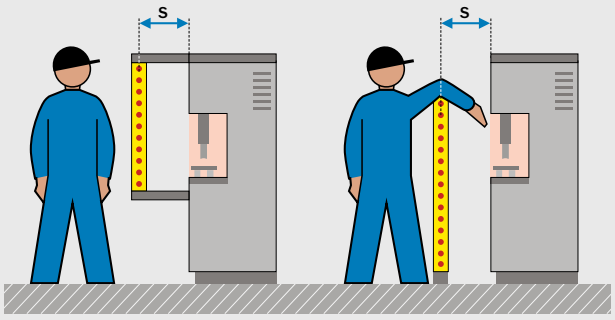
Beispiele für gefährliche Montagefehler



Nachdem der Mindestabstand zwischen Schutzfeld und der nächstliegenden Gefahrstelle berechnet wurde, ist in einem weiteren Schritt die erforderliche Schutzfeldhöhe zu bestimmen. Dadurch soll verhindert werden, dass die Gefahrstelle durch Übergreifen erreicht werden kann.

Übergreifbare Schutzeinrichtungen

Je nach Höhe und Lage des Schutzfelds einer BWS, der Form der Maschine und anderen Faktoren, kann das Schutzfeld einer BWS so übergriffen werden, dass Gefahrstellen vor Beendigung des Gefahr bringenden Maschinenvorgangs erreicht werden können und die beabsichtigte Schutzwirkung nicht erfolgt. Die Abbildung zeigt beispielhaft eine nicht übergreifbare und eine übergreifbare BWS im Vergleich.



BWS nicht übergreifbar BWS übergreifbar

Wenn der Zugang zum Gefahrbereich durch Übergreifen (Hinüberreichen) über ein senkrechtes Schutzfeld nicht ausgeschlossen werden kann, müssen die Höhe des Schutzfelds und der Mindestabstand der BWS bestimmt werden. Dies erfolgt durch Vergleich des berechneten Werts auf Grundlage der möglichen Detektion von Gliedmaßen oder Körperteilen mit dem Wert, der sich durch das mögliche Hinüberreichen ergibt. Angewendet wird der größere Wert, der sich aus diesem Vergleich ergibt. Dieser Vergleich ist gemäß ISO 13855, Abschnitt 6.5, durchzuführen.

Mögliches Übergreifen berücksichtigen

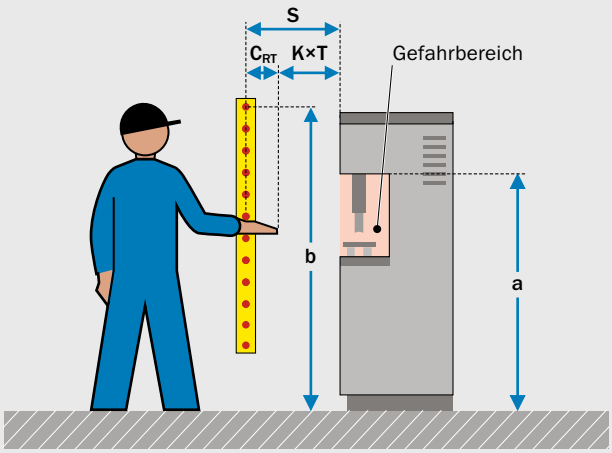
Wenn ein Übergreifen des senkrechten Schutzfelds einer BWS möglich ist, muss die Höhe **b** der Schutzfeldoberkante erhöht oder der Zuschlag **C** angepasst werden. Bei beiden Verfahren muss die entsprechende Tabelle gemäß der Norm ISO 13855 verwendet werden.

Konsequenzen

In manchen Anwendungen, bei denen BWS mit d > 40 mm verwendet werden (Mehrstrahlsysteme), könnte sich der Mindestabstand vergrößern oder es müssen BWS mit d ≤ 40 mm (Lichtvorhänge) eingesetzt werden. Dies gilt für die Anwendung der ISO 13855.
Manche C-Normen weichen bei der Berechnung der Mindestabstände von der ISO 13855 ab.

Schutzfeldoberkante erhöhen

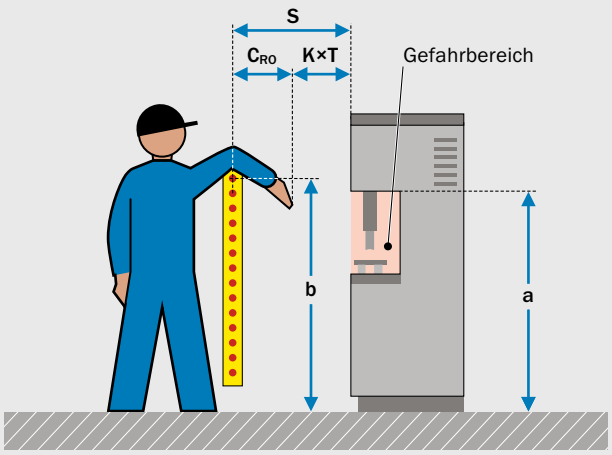
Bei Erhöhung der Schutzfeldoberkante **b** wird neben der Höhe des Gefahrbereichs **a** der auflösungsabhängige Zuschlag C_{RT} verwendet, um bei gleichbleibendem Mindestabstand die erforderliche Höhe der Schutzfeldoberkante zu ermitteln. Bei dieser ermittelten Höhe der Schutzfeldoberkante ist ein Erreichen des Gefahrbereichs durch Übergreifen nicht möglich, ein C_{RO}-Zuschlag ist nicht erforderlich.



Parameter zur Bestimmung des erforderlichen Mindestabstands beim Durchgreifen

Mindestabstand vergrößern (Schutzfeldoberkante vorgegeben)

Falls die Schutzfeldoberkante **b** durch z. B. ein bereits existierendes Produkt vorgegeben ist, muss der Mindestabstand vergrößert werden. Dies erfolgt neben der Bestimmung der Höhe des Gefahrbereichs **a** mit der Höhe der Schutzfeldoberkante **b**. Das Ergebnis aus dem resultierenden Schnittpunkt in der Tabelle beschreibt den Eindringabstand C_{RO}. Falls $C_{RO} \geq C_{RT}$ ist, ersetzt der C_{RO}-Wert den C_{RT}-Wert bei der Berechnung des Mindestabstands. Für den Fall das $C_{RO} < C_{RT}$ ist, wird der C_{RT}-Wert weiterhin bei der Berechnung des Mindestabstands verwendet.



Parameter zur Bestimmung des erforderlichen Mindestabstands bei möglichem Übergreifen

Im Allgemeinen gilt:

$$C \geq C_{RO\ (Übergreifen)} \text{ und } C \geq C_{RT\ (Durchgreifen)}$$

Auf den folgenden Seiten finden Sie die benötigte Tabelle, gemäß ISO 13855, und Beispiele zur Nutzung.

So ermitteln Sie die erforderliche Höhe der Schutzfeldoberkante:

1. Ermitteln Sie die Höhe der Gefahrstelle **a** und suchen Sie den gleichen oder nächstgrößeren Wert in der linken Spalte.
2. Berechnen Sie den auflösungsabhängigen Zuschlag C_{RT} gemäß den bekannten Formeln für die rechtwinklige Annäherung:

Ermitteln Sie in der durch **a** festgelegten Zeile die letzte Spalte, in der der zusätzliche horizontale Abstand **C** gleich oder kleiner dem errechneten auflösungsabhängigen Zuschlag C_{RT} ist.

3. Lesen Sie in der Fußzeile, der durch Schritt 2 festgelegten Spalte, die resultierende Höhe **b** der Schutzfeldoberkante ab

- BWS, Auflösung d ≤ 40 mm: $C_{RT} = 8 \times (d - 14)$
- BWS, Auflösung d > 40 mm: $C_{RT} = 850$ mm

Höhe **a** des Gefahrbereichs (mm)	Zusätzlicher horizontaler Abstand **C** zum Gefahrbereich (mm)											
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400 ①	1200	1200	1100	1000	900	850 ②	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der Schutzfeldoberkante (mm)											
	900	**1000**	**1100**	**1200**	**1300**	**1400** ③	**1600**	**1800**	**2000**	**2200**	**2400**	**2600**

Beispiel

- Auflösungsvermögen der BWS: > 40 mm
- Höhe **a** des Gefahrbereichs: 1400 mm ①
- Auflösungsabhängiger Zuschlag **C**: 850 mm ②

Die Höhe **b** der Schutzfeldoberkante der BWS darf 1400 mm ③ nicht unterschreiten, ohne dass der horizontale Abstand zum Gefahrbereich vergrößert wird.

Falls die erforderliche Höhe der Schutzfeldoberkante nicht realisiert werden kann, so muss der Zuschlag CRO wie folgt ermittelt werden:

1. Legen Sie die mögliche (geplante oder vorhandene BWS) Höhe **b** der Schutzfeldoberkante fest und suchen Sie den gleichen oder nächstkleineren Wert in der Fußzeile.
2. Ermitteln Sie die Höhe der Gefahrstelle **a** und suchen Sie den Wert in der linken Spalte. Bei Zwischenwerten ist die benachbarte Zeile (obere oder untere) zu wählen, die im Schritt 3 den größeren Abstand ergibt.
3. Lesen Sie den erforderlichen horizontalen Abstand C a Schnittpunkt der beiden Werte ab.

Höhe **a** des Gefahrbereichs (mm)	Zusätzlicher horizontaler Abstand **C** zum Gefahrbereich (mm)											
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400 ②	1200	1200	1100 ③	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der Schutzfeldoberkante (mm)											
	900	**1000**	**1100** ①	**1200**	**1300**	**1400**	**1600**	**1800**	**2000**	**2200**	**2400**	**2600**

Beispiel

- Dreistrahlige Standard-BWS (300/700/1100 mm)
- Höhe **b** der Schutzfeld-oberkante: 1100 mm ①
- Höhe **a** des Gefahrbe-reichs: 1400 mm ②
- Durch mögliches Übergreifen bedingter Zuschlag C_{RO}: 1100 mm ③ (statt der früher üblichen 850 mm)

3 c

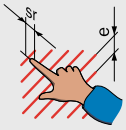
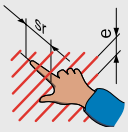
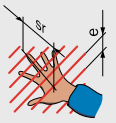
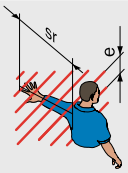
Um ein mögliches Übergreifen zu berücksichtigen, bietet die Norm ISO 13855 folgende Tabelle an. Mithilfe dieser Tabelle erfolgt die Berechnung für die erhöhte Schutzfeldoberkante oder den vergrößerten Mindestabstand.

Höhe **a** des Gefahrbereichs (mm)	Zusätzlicher horizontaler Abstand **C** zum Gefahrbereich (mm)											
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der Schutzfeldoberkante (mm)											
	900	**1000**	**1100**	**1200**	**1300**	**1400**	**1600**	**1800**	**2000**	**2200**	**2400**	**2600**

Sicherheitsabstand bei trennenden Schutzeinrichtungen

Trennende Schutzeinrichtungen müssen ausreichend Abstand zum Gefahrbereich haben, sofern sie Öffnungen aufweisen. Dies gilt auch für Öffnungen zwischen Schutzeinrichtung und Maschinengestell, Aufspannplatten usw.

Sicherheitsabstand in Abhängigkeit von Öffnungen trennender Schutzeinrichtungen nach ISO 13857

Körperteil		Öffnung e (mm)	Sicherheitsabstand (mm)		
			Schlitz	Quadrat	Kreis
Fingerspitze		e ≤ 4	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		4 < e ≤ 6	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Finger bis Handwurzel		6 < e ≤ 8	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		8 < e ≤ 10	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		10 < e ≤ 12	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		12 < e ≤ 20	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		20 < e ≤ 30	≥ 850	≥ 120	≥ 120
Arm bis Schultergelenk		30 < e ≤ 40	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		40 < e ≤ 120	≥ 850	≥ 850	≥ 850

3 c

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Sicherheitsabstand für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen

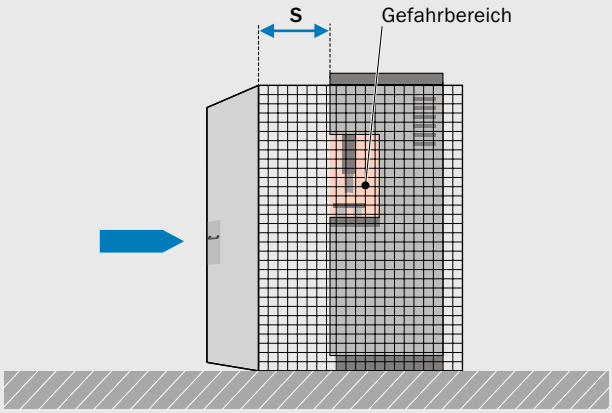
Dabei ist ...

- **S** der Mindestabstand in Millimetern, gemessen von der nächstliegenden Gefahrstelle zum nächstliegenden Türöffnungspunkt.
- **K** ein Parameter in Millimetern pro Sekunde, abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen, in der Regel 1600 mm/s.
- **T** die Nachlaufzeit des gesamten Systems in Sekunden.
- **C** ein aus der entsprechenden Tabelle aus ISO 13857: (Sicherheitsabstand in Abhängigkeit von Öffnungen trennender Schutzeinrichtungen) entnommener Sicherheitsabstand. Dieser ist erforderlich, falls es möglich ist, vor Erzeugung eines Stoppsignals die Finger oder die Hand durch die Öffnung in Richtung des Gefahrbereichs zu stecken.

Für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen, die einen Stopp auslösen, muss analog zur Vorgehensweise bei den BWS ebenfalls ein Sicherheitsabstand eingehalten werden. Alternativ können Verriegelungen mit Zuhaltungen den Zugang so lange verhindern, bis keine Gefährdung mehr vorhanden ist.

Allgemeine Berechnungsformel

$$S = (K \times T) + C$$

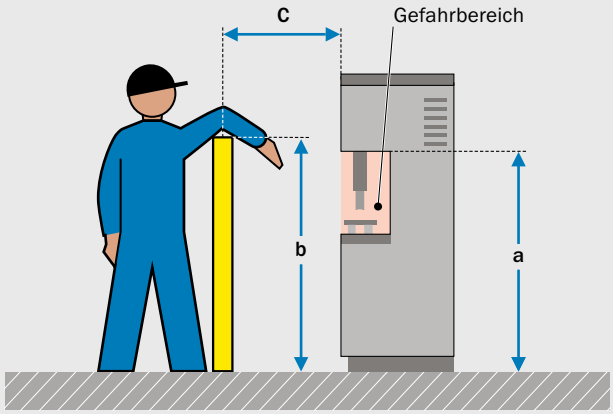


Sicherheitsabstand für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen

→ Berechnung des Mindestabstands für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen: ISO 13855 (B-Norm)

Notwendige Höhe bei trennenden Schutzeinrichtungen

Analog zur Vorgehensweise bei BWS ist das gleiche Verfahren auch für trennende Schutzeinrichtungen anzuwenden. Je nach Gefährdungspotenzial sind unterschiedliche Berechnungstabellen zu betrachten.
Um das Unterkriechen der trennenden Schutzeinrichtungen zu vermeiden, reicht es im Normalfall, wenn diese bei 200 mm über der Bezugsebene beginnen.



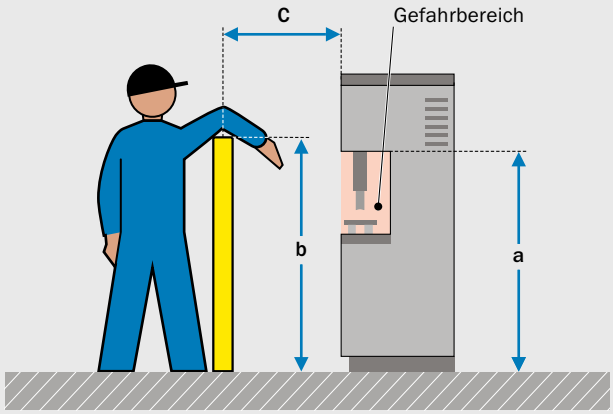
Parameter zur Bestimmung der erforderlichen Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen

Erforderliche Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen bei geringem Gefährdungspotenzial gemäß ISO 13857

Höhe a des Gefahrbereichs (mm)	Horizontaler Abstand C zum Gefahrbereich (mm)								
2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2000	1100	900	700	600	500	350	0	0	0
1800	1100	1000	900	900	600	0	0	0	0
1600	1300	1000	900	900	500	0	0	0	0
1400	1300	1000	900	800	100	0	0	0	0
1200	1400	1000	900	500	0	0	0	0	0
1000	1400	1000	900	300	0	0	0	0	0
800	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der trennenden Schutzeinrichtung (mm)								
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Erforderliche Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen bei großem Gefährdungspotenzial gemäß ISO 13857



Parameter zur Bestimmung der erforderlichen Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen

Höhe a des Gefahrbereichs (mm)	Horizontaler Abstand C zum Gefahrbereich (mm)									
2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2400	1100	1000	900	800	700	600	400	300	100	0
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	0	0
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	0	0	0
1800	1500	1400	1100	900	800	600	0	0	0	0
1600	1500	1400	1100	900	800	500	0	0	0	0
1400	1500	1400	1100	900	800	0	0	0	0	0
1200	1500	1400	1100	900	700	0	0	0	0	0
1000 ①	1500	1400	1000	800	0 ②	0	0	0	0	0
800	1500	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1400	1300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1400	1200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	500	0	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der trennenden Schutzeinrichtung (mm)									
	1000	**1200**	**1400**	**1600**	**1800** ③	**2000**	**2200**	**2400**	**2500**	**2700**

Gehen Sie wie folgt vor, um die notwendige Höhe der Oberkante der Schutzeinrichtung für diesen Sicherheitsabstand zu bestimmen:

1. Ermitteln Sie die Höhe der Gefahrstelle **a** und suchen Sie den Wert in der linken Spalte, z. B. 1000 mm.
2. Ermitteln Sie in dieser Zeile die erste Spalte, in der der horizontale Abstand **C** kleiner als der errechnete Sicherheitsabstand ist, z. B. das erste Feld mit dem Wert „0“.
3. Lesen Sie in der Fußzeile die resultierende Höhe **b** für die trennende Schutzeinrichtung ab, z. B. 1800 mm

Beispiel für hohe Gefährdung

Die trennende Schutzeinrichtung muss somit bei 200 mm über der Bezugsebene beginnen und bei 1800 mm enden. Soll die Höhe der trennenden Schutzeinrichtung bei 1600 mm liegen, dann muss der Sicherheitsabstand auf mindestens 800 mm vergrößert werden.

→ Sicherheitsabstände und erforderliche Schutzfeldhöhe: ISO 13857

Mindestabstand bei ortsbindenden Schutzeinrichtungen

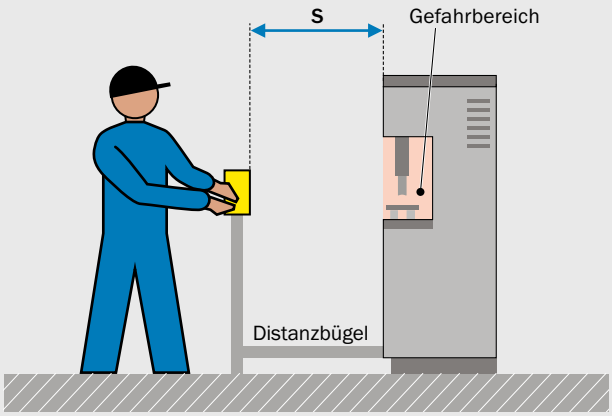
Dabei ist ...

- **S** der Mindestabstand in Millimetern, gemessen vom Bedienteil zur nächstliegenden Gefahrstelle.
- **K** ein Parameter in Millimetern pro Sekunde, abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen, in der Regel 1600 mm/s.
- **T** die Nachlaufzeit des gesamten Systems, gemessen ab dem Loslassen des Bedienteils in Sekunden.
- **C** ein Zuschlagsfaktor: 250 mm. Kann unter bestimmten Bedingungen entfallen (z. B. Überdeckung des Befehlsgeräts).

Wenn die Zweihandeinrichtung an ortsveränderlichen Ständern angebracht ist, dann muss das Einhalten des notwendigen Mindestabstands durch Distanzbügel oder begrenzte Kabellängen (zum Verhindern der unzulässigen Mitnahme) sichergestellt werden.

Beispiel: Mindestabstand Zweihandeinrichtung

$$S = (K \times T) + C$$



→ Berechnung des Mindestabstands: ISO 13855 (B-Norm)

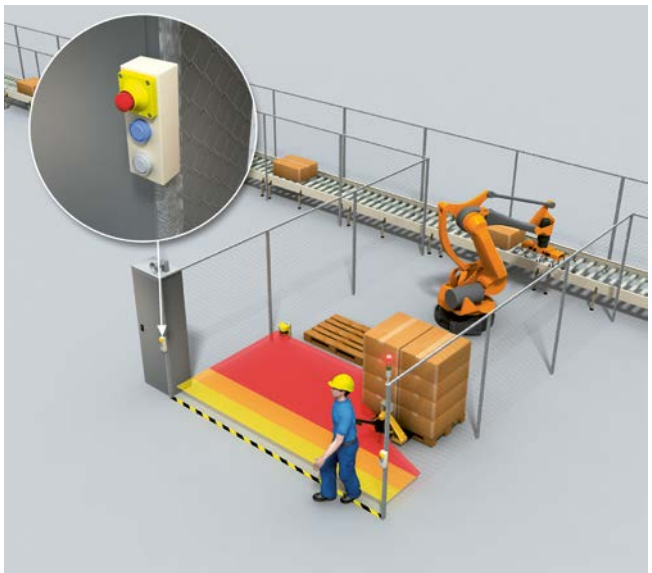
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf

Wenn eine Schutzeinrichtung einen Stopp-Befehl gegeben hat, dann muss der Stopp-Zustand aufrecht erhalten werden, bis eine manuelle Rücksetzeinrichtung betätigt wird (Reset) und die Maschine in einem weiteren Schritt neu gestartet werden kann (Restart). Eine Ausnahme hierzu ist die Verwendung von Schutzeinrichtungen, die eine ständige Erkennung von gefährdeten Personen im Gefahrbereich ermöglichen (z. B. Hintertretschutz).

Die manuelle Rücksetzfunktion muss durch ein getrenntes, manuell zu bedienendes Gerät bereitgestellt werden. Das Gerät muss derart gestaltet sein, dass es der vorhersehbaren Beanspruchung standhält und dass die beabsichtigte Wirkung nur durch eine absichtliche Betätigung erzielt werden kann (⚠ Touch Panel sind u. U. ungeeignet). Gemäß ISO 13849-1 (Ziff. 5.2.2) darf die Rückstellung nur durch das Loslassen des Antriebselements in seiner betätigten (Ein-)Position erfolgen. Deshalb gilt für die Signalverarbeitung die Anforderung der Erkennung der fallenden Signalflanke des Befehlsgeräts. D. h., die Quittierung darf nur durch das Loslassen des Antriebselements aus seiner (betätigten) Ein-Position erfolgen. Sie darf erst ausgeführt werden können, wenn alle Sicherheitsfunktionen und Schutzeinrichtungen funktionsfähig sind.

Das Betätigungselement zum Rücksetzen muss an einer sicheren Position außerhalb des Gefahrbereichs angebracht werden. Von dieser Position aus muss der Gefahrbereich vollständig eingesehbar sein. Somit kann sicher überprüft werden, dass sich keine Person im Gefahrbereich aufhält.



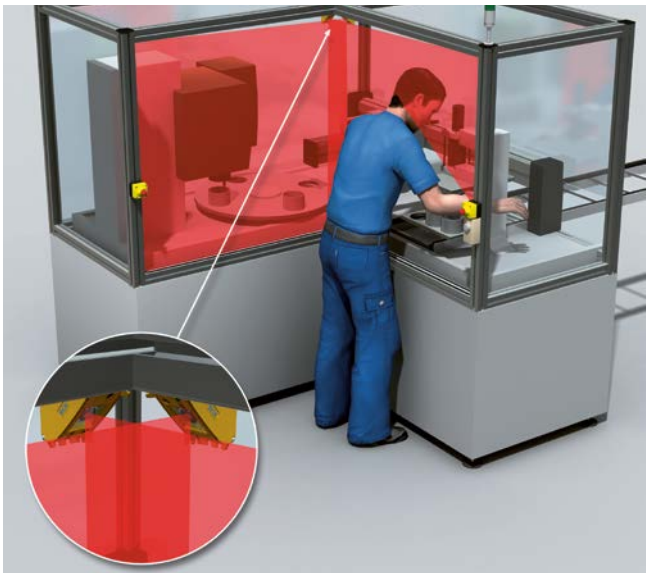
Die Position des Reset-Tasters erlaubt die vollständige Einsicht in den Gefahrbereich für das Rücksetzen der Schutzeinrichtung.

Das Signal der Rücksetzeinrichtung ist Bestandteil der Sicherheitsfunktion und muss somit

- entweder diskret auf die sicherheitsgerichtete Logikeinheit verdrahtet werden
- oder über ein sicherheitsgerichtetes Bussystem übertragen werden.

Durch das Rücksetzen darf keine Bewegung oder Gefährdungssituation eingeleitet werden. Stattdessen kann die Maschinensteuerung nach dem Rücksetzen einen separaten Startbefehl annehmen.

Gefahrstellenabsicherung ohne Reset



In dieser Anordnung ist es nicht möglich, sich im Gefahrbereich aufzuhalten ohne die Schutzeinrichtung auszulösen. Deshalb ist ein separates Rücksetzen der Schutzeinrichtung (Reset) nicht erforderlich.

Integrieren der Schutzeinrichtungen in die Steuerung

Neben den mechanischen Aspekten ist eine Schutzeinrichtung auch steuerungstechnisch zu integrieren.

> „Steuerungen sind funktionelle Baugruppen des Informationssystems einer Maschine und realisieren logische Funktionen. Sie koordinieren die Stoff- und Energieflüsse im Wirkbereich des Werkzeugs und Werkstücksystems im Sinne der Arbeitsaufgabe. [...] Steuerungen unterscheiden sich nach der angewendeten Technologie, d. h. nach den Trägern der Information, in fluidische, elektrische und elektronische Steuerungen."
>
> Aus: Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer-Verlag, Berlin u. a., ISBN 978-3-642-33889-2 (5. Auflage 2013)

Der allgemeine Begriff **Steuerung** beschreibt die gesamte Kette eines Steuerungssystems. Die Steuerung besteht aus Eingangselement, Logikeinheit, leistungssteuerndem Element sowie dem Antriebs- bzw. Arbeitselement.
Sicherheitsbezogene Teile der Steuerung sollen Sicherheitsfunktionen ausführen. Daher werden an ihre Zuverlässigkeit und ihre Widerstandsfähigkeit gegen Fehler besondere Anforderungen gestellt. Sie zeichnen sich durch Fehler beherrschende und Fehler vermeidende Prinzipien aus.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Steuerung			Sicherheitstechnische Aspekte	
Wirkprinzip der Steuerung		**Typische Bauteile**	**Störeinflüsse**	**Erläuterungen**
Fluidisch	Pneumatisch	• Mehrwegventile • Entlüftungsventile • Handabsperrventile • Filter mit Wasserabscheider • Schläuche	• Energieänderungen • Reinheit und Wassergehalt der Druckluft	Meistens als elektropneumatische Steuerung ausgeführt. Wartungseinheit zur Aufbereitung der Druckluft notwendig.
	Hydraulisch	• Druckspeicher • Druckbegrenzer • Mehrwegventile • Filter • Niveauanzeiger • Temperaturanzeiger • Schläuche und Leitungen • Verschraubung	• Reinheit • Viskosität • Temperatur der Druckflüssigkeit	Meistens als elektrohydraulische Steuerung ausgeführt. Maßnahmen zur Druck- und Temperaturbegrenzung im System und zur Filtration des Mediums notwendig.

Elektrisch	Elektro-mechanisch	• Befehlsgeräte:
		  • Positionsschalter
		  • Wahlschalter
		  • Taster
		• Schaltgeräte:
		  • Steuerschütze
		  • Relais
		  • Leistungsschütze
			• Schutzklasse der Geräte
			• Auswahl, Dimensionierung und Anordnung der Bauteile und Geräte
			• Ausführung und Verlegung der Leitungen
				Teile sind aufgrund ihrer Bauart und eindeutiger Schaltstellungen bei richtiger Auswahl unempfindlich gegen Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen und elektromagnetische Störungen.

	Elektronisch	• Einzelbauteile, z. B.:
		  • Transistoren
		  • Widerstände
		  • Kondensatoren
		  • Spulen
		• Hochintegrierte Bausteine, z. B. integrierte Schaltkreise (IC)
			Wie unter „Elektromechanisch“.
			Zusätzlich:
			• Temperaturschwankungen
			• Über Leitungen oder Felder eingekoppelte elektromagnetische Störungen
				Fehlerausschlüsse sind nicht möglich.
				Zuverlässige Wirkung ist nur durch Steuerungskonzepte realisierbar, nicht durch die Bauteileauswahl.

	Mikroprozessorgesteuert	• Mikroprozessoren
		• Software
			• Installationsfehler in der Hardware
			• Systematische Fehler einschließlich Common-Mode-Fehlern
			• Programmierfehler
			• Handhabungsfehler
			• Bedienungsfehler
			• Manipulationen
			• Virenprogramme
				• Maßnahmen zur Fehlervermeidung:
				  • Strukturierter Entwurf
				  • Programmanalyse
				  • Simulation
				• Maßnahmen zur Fehlerbeherrschung:
				  • Redundante Hard- und Software
				  • RAM-/ROM-Test
				  • CPU-Test

Aus: Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer-Verlag, Berlin u. a., ISBN 978-3-642-33889-2 (5. Auflage 2013)

Die sicherheitsbezogenen Eingangselemente sind mit der Sicherheitssensorik (Schutzeinrichtungen) bereits beschrieben. Daher werden nachfolgend nur die Logikeinheit und die Aktorik behandelt.
Für die sicherheitstechnische Betrachtung der Aktorik bezieht man sich auf die leistungssteuernden Elemente. Fehler und Versagen von Antrieb bzw. Arbeitselementen werden üblicherweise ausgeschlossen. (Ein Motor ohne Energie schaltet in den gefahrlosen Zustand.)

Fluidische Steuerungen werden häufig als elektropneumatische bzw. elektrohydraulische Steuerungen ausgeführt. D. h., die elektrischen Signale werden durch Ventile in fluidische Energie umgesetzt, um damit Zylinder und andere Aktoren zu bewegen.

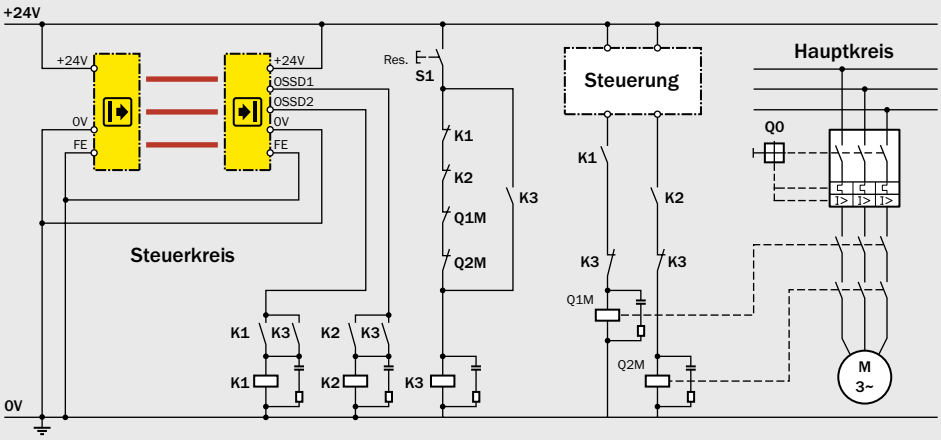
➜ Schaltungsbeispiele zur Integration von Schutzeinrichtungen finden Sie unter www.sick.com

Logikeinheiten

In einer Logikeinheit werden unterschiedliche Eingangssignale von Sicherheitsfunktionen miteinander zu Ausgangssignalen verknüpft. Hierzu können elektromechanische, elektronische oder programmierbare elektronische Komponenten verwendet werden.

Achtung: Abhängig von der notwendigen Zuverlässigkeit, dürfen die Signale der Schutzeinrichtungen nicht allein von Standardsteuerungen verarbeitet werden. Es müssen ggf. zusätzlich parallele Abschaltpfade vorhanden sein.

Logikeinheit aufgebaut mit Schützen

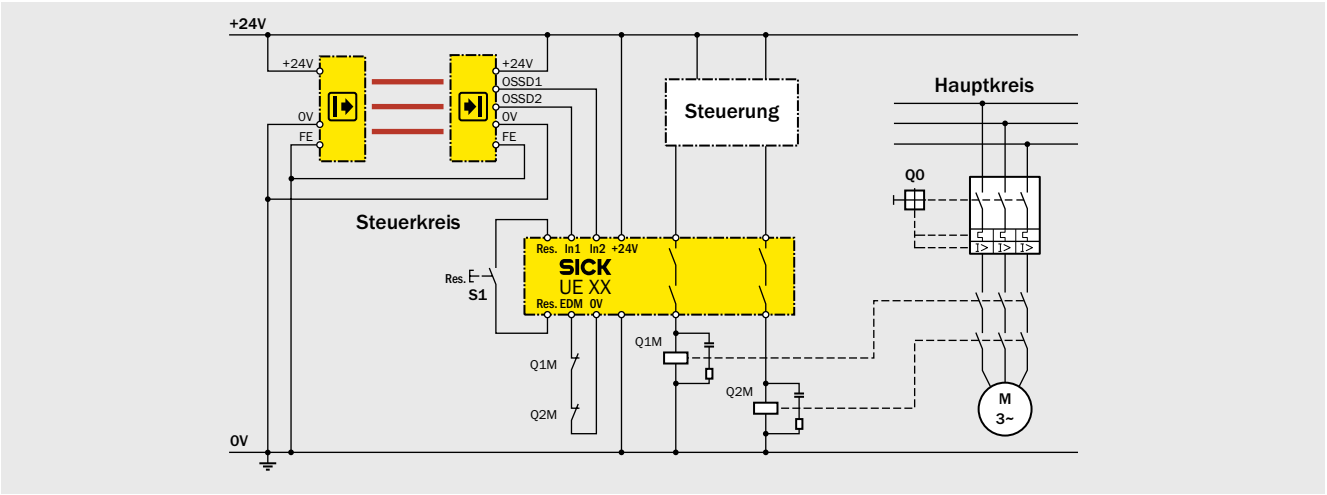


Aus einzelnen Hilfsschützen mit zwangsgeführten Kontakten lassen sich Steuerungen beinahe beliebiger Komplexität aufbauen. Redundanz und Überwachung durch zwangsgeführte Kontakte kennzeichnen dieses Sicherheitsprinzip. Die logische Verknüpfung wird durch die Verdrahtung realisiert.

Wirkungsweise: Bei Ruhelage der Schütze K1 und K2 wird durch Betätigung von S1 das Schütz K3 eingeschaltet und hält sich selbst. Wird kein Gegenstand im aktiven Schutzfeld detektiert, führen die Ausgänge OSSD1 und OSSD2 Spannung. Die Schütze K1 und K2 werden über die Schließerkontakte von K3 eingeschaltet und halten sich selbst. K3 wird beim Loslassen des Tasters S1 abgeschaltet. Erst dann werden die Ausgangskreise geschlossen. Bei Detektion eines Gegenstands im aktiven Schutzfeld werden die Schütze K1 und K2 durch die Ausgänge OSSD1 und OSSD2 ausgeschaltet.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Logikeinheit als Sicherheitsschaltgerät (Sicherheits-Relais-Kombination)



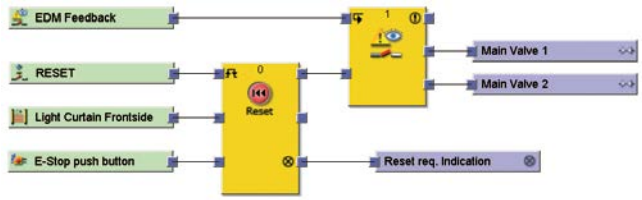
Sicherheitsschaltgeräte fassen in einem Gehäuse eine oder mehrere Sicherheitsfunktionen zusammen. Sie beinhalten in der Regel Selbstüberwachungsfunktionen. Die Abschaltpfade können kontaktbehaftet oder mit Halbleitern ausgeführt sein. Sie können zusätzlich Meldekontakte beinhalten.

Der Aufbau von komplexeren Sicherheitsanwendungen wird vereinfacht. Das zertifizierte Sicherheitsschaltgerät verringert zusätzlich den Aufwand für die Validierung von Sicherheitsfunktionen. Anstelle von Relais können Halbleiterbauelemente die Aufgabe der elektromechanischen Schaltelemente übernehmen. Durch Fehlererkennungsmaßnahmen wie die Auswertung dynamischer Signale oder Fehlerbeherrschungsmaßnahmen wie die mehrkanalige Signalverarbeitung können rein elektronische Steuerungen den erforderlichen Grad an Zuverlässigkeit erreichen.

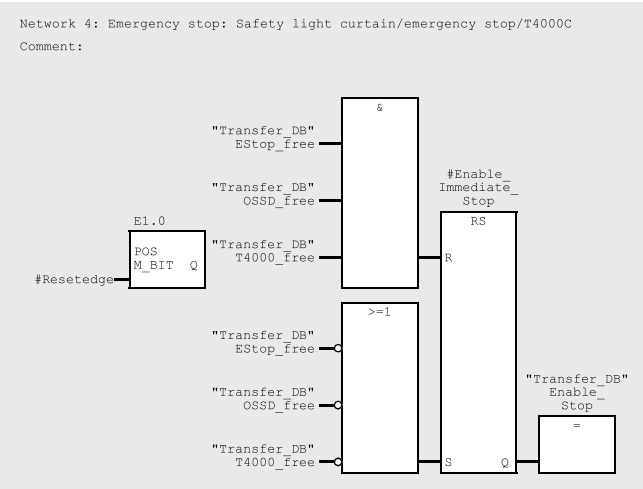
Logikeinheit mit softwarebasierten Komponenten
Analog zur Automatisierungstechnik hat sich die Sicherheitstechnik von verdrahteten Hilfsschützen über Sicherheitsschaltgeräte, teilweise mit parametrierbaren und konfigurierbaren Sicherheitslogiken, bis hin zu komplexen fehlersicheren SPS weiterentwickelt. Das Konzept von „bewährten Bauteilen“ und „bewährten Sicherheitsprinzipien“ muss auf die elektrischen und programmierbaren elektronischen Systeme übertragen werden.
Die logische Verknüpfung für die Sicherheitsfunktion wird dabei durch Software realisiert. Software ist zu unterscheiden nach Firmware – entwickelt und zertifiziert vom Hersteller der Steuerung – und der eigentlichen Sicherheitsanwendung. Diese entwickelt der Maschinenhersteller mit dem von der Firmware bereitgestellten Sprachumfang.

Parametrierung
Auswahl von Eigenschaften aus einem vorgegebenen Vorrat von Funktionalitäten durch Wahlschalter bzw. Softwareparameter zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme.
Merkmale: geringe Logiktiefe, UND-/ODER-Logik

Konfiguration
Flexible Verknüpfung von vorgegebenen Funktionsblöcken in zertifizierter Logik mit einer Programmieroberfläche, Parametrierung von z. B. Zeiten und Konfiguration der Ein- und Ausgänge der Steuerung.
Merkmale: beliebige Logiktiefe, binäre Logik

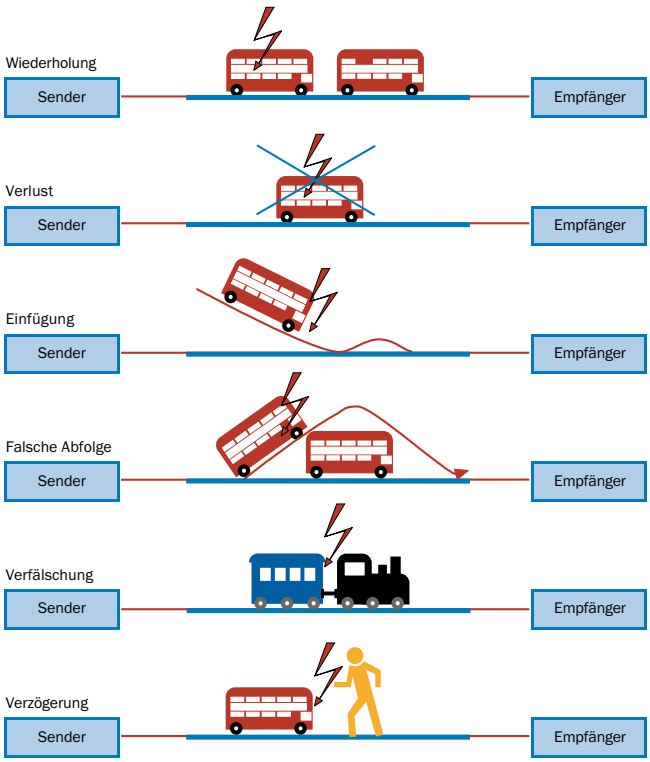


Programmierung
Freie Gestaltung der Logik mit einem von der vorgegebenen Programmiersprache abhängigen Funktionsumfang, meist unter Nutzung zertifizierter Funktionsblöcke.
Merkmale: beliebige Logiktiefe, Wortverarbeitung



Zuverlässige Datenübertragung

Bussysteme werden einerseits angewendet, um Signale zwischen dem Steuerungssystem und Sensoren oder Aktoren an der Maschine zu übermitteln. Bussysteme sind andererseits für die Übertragung von Zuständen zwischen verschiedenen Teilen von Steuerungen verantwortlich. Ein Bussystem erleichtert die Verdrahtung und reduziert damit mögliche Fehler. Es ist sinnvoll, für sicherheitsbezogene Anwendungen etablierte Bussysteme zu verwenden.



Quelle: Sicherheitsgerechtes Konstruieren von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Elektrische Ausrüstung und Steuerungen; BG Druck- und Papierverarbeitung; Auflage 06/2004; Seite 79

Gegen die oben genannten Übertragungsfehler sind eine Vielzahl von Maßnahmen in der übergeordneten Steuerung möglich, wie z. B. fortlaufende Nummerierung der sicherheitsbezogenen Telegramme oder eine Zeiterwartung für ankommende Telegramme mit Quittierung. Protokollerweiterungen auf Basis des eingesetzten Feldbusses beinhalten solche Maßnahmen.

Eine genaue Untersuchung unterschiedlicher Fehler in Hard- und Software zeigt, dass sich solche Fehler immer in den wenigen gleichen Übertragungsfehlern von Bussystemen äußern.

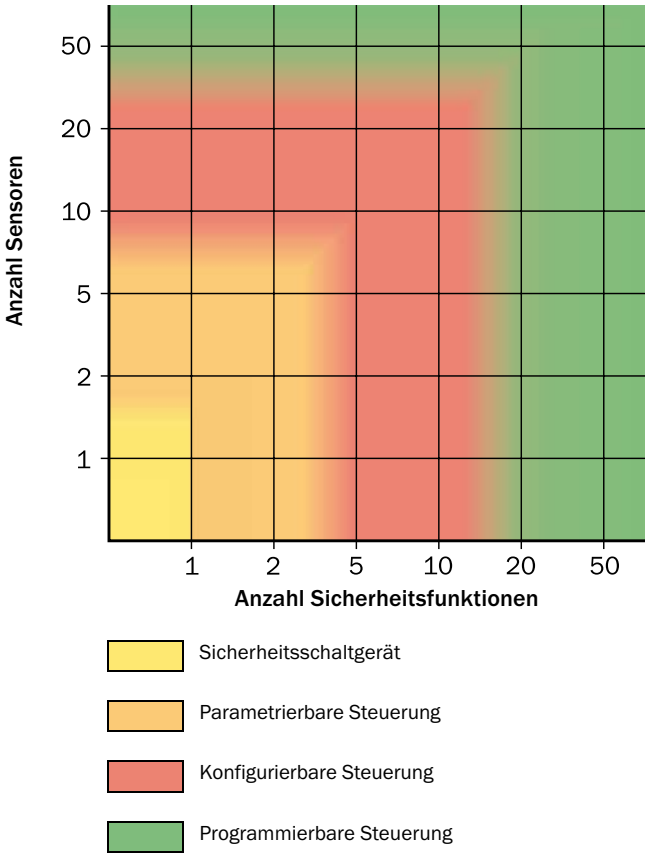
Sie wirken nach dem ISO-/OSI-Schichtenmodell oberhalb der Transportschicht und nutzen somit den Feldbus unverändert mit all seinen Komponenten als „Black channel“. Als sichere Bussysteme haben sich z. B. etabliert:

- AS-i Safety at Work
- DeviceNet Safety
- PROFIsafe

Auswahlkriterien

Kriterien für die Auswahl einer Steuerungsfamilie sind zunächst die Anzahl der zu realisierenden Sicherheitsfunktionen sowie der Umfang der logischen Verknüpfungen zwischen Eingangssignalen.

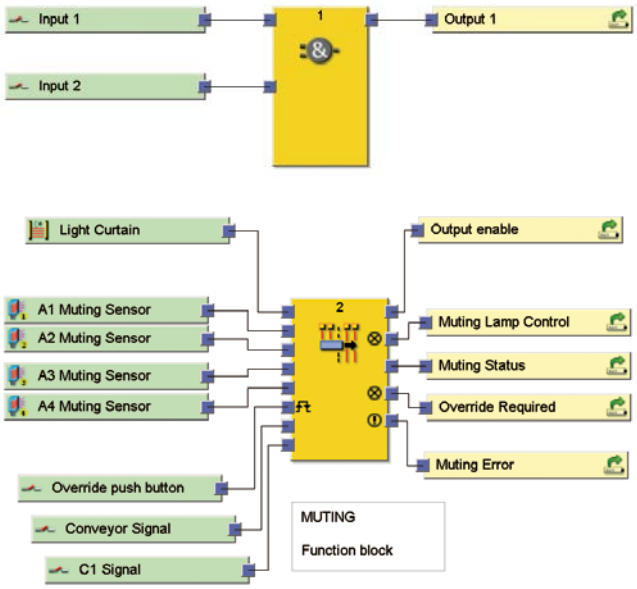
Die Funktionaliät der benötigten Verknüpfungslogik – z. B. einfaches UND, Flipflop oder Spezialfunktionen wie Muting – beeinflusst die Auswahl zusätzlich.



Designmatrix

0 = Logisch 0 oder AUS
S = Freigabe Aktor (Restart)
I = Logisch 1 oder EIN
– = Zustand egal

Sicherheitsgerichtete Eingänge: Fall	Sicherheitsgerichtete Ausgänge: Wirkung: Roboter	Tisch links	Tisch rechts	⋮	⋮
Position verloren	0	–	–		
Roboter links	S	–	–		
Roboter rechts	S	–	–		
Roboter Mitte	S	–	–		
Zugang links	S	I	–		
Zugang rechts	–	–	I		
Not-Halt	0	0	0		
...					



Softwarespezifikation

Um das Auftreten eines Gefahr bringenden Zustands zu vermeiden, müssen insbesondere softwarebasierte Logikeinheiten so entworfen werden, dass Fehler in der Logik zuverlässig vermieden werden. Um systematische Fehler zu erkennen, sollte eine systematische Prüfung durch eine andere Person als den Entwickler erfolgen und damit das Vier-Augen-Prinzip angewendet werden.

Eine einfache Realisierungsmöglichkeit dieser Spezifikation stellt die sogenannte **Designmatrix** dar. Hierbei werden bestimmte Kombinationen von sicherheitsrelevanten Eingangssignalen zu gesonderten Fällen (z. B. „Position verloren“ oder „Roboter links“) zusammengefasst. Diese Fälle sollen nach Vorgabe der Sicherheitsfunktion über die sicherheitsrelevanten Ausgänge auf die Maschinenfunktionen wirken. Diese einfache Methode wird auch von SICK bei der Projektierung von Anwendungssoftware verwendet.

Ein Review mit allen Projektbeteiligten ist sinnvoll.

Bei schlecht dokumentierten und unstrukturierten Programmen entstehen die Fehler bei späteren Modifikationen, insbesondere besteht die Gefahr von unerkannten Abhängigkeiten, sogenannten Seiteneffekten. Insbesondere bei fremdentwickelter Software haben gute Spezifikationen und Programmdokumentationen eine besonders stark Fehler vermeidende Wirkung.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Leistungssteuernde Elemente

Die von den Schutzeinrichtungen und der Logikeinheit ausgelöste Sicherheitsfunktion muss eine Gefahr bringende Bewegung stoppen. Hierfür werden üblicherweise die Antriebs- oder Arbeitselemente durch leistungssteuernde Elemente abgeschaltet.

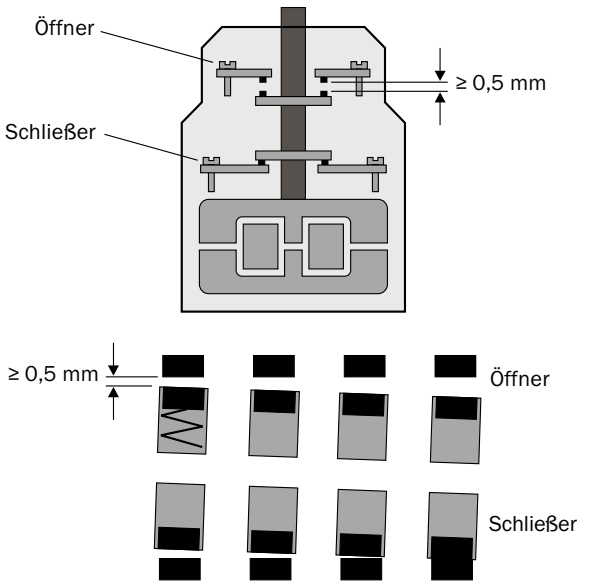
→ Prinzip des Ausschaltens bzw. der Energieabschaltung: ISO 13849-2 (B-Norm)

Schütze

Die meistverwendete Art leistungssteuernder Elemente sind elektromechanische Schütze. Durch spezielle Auswahlkriterien, Beschaltungen und Maßnahmen können ein oder mehrere Schütze ein Teilsystem der Sicherheitsfunktion sein. Durch Schutz der Kontakte gegen Überstrom und Kurzschlüsse, Überdimensionierung (üblicherweise Faktor 2) und andere Maßnahmen wird ein Schütz als bewährtes Bauteil angesehen. Um Schütze für Sicherheitsfunktionen diagnostizieren zu können, ist eine eindeutige Rückmeldung des Schaltzustands nötig (EDM). Dies ist durch ein Schütz mit zwangsgeführten Kontakten möglich. Zwangsführung ist dann gegeben, wenn die Kontakte in einem Kontaktsatz mechanisch so miteinander verbunden sind, dass über die gesamte Lebensdauer hinweg niemals Schließer und Öffner gleichzeitig geschlossen sein können.

Der Begriff der „zwangsgeführten Kontakte“ bezieht sich zunächst auf Hilfsschütze und Hilfskontakte. Es muss auch im gestörten Zustand (ein Schließerkontakt verschweißt) ein definierter Kontaktabstand von mindestens 0,5 mm am Öffner gewährleistet sein. Da bei Leistungsschützen für kleine Schaltleistungen (< 4 kW) kein wesentlicher Unterschied zwischen den Hauptschaltgliedern und den Hilfsschaltgliedern besteht, kann man bei kleinen Leistungsschützen ebenfalls von „zwangsgeführten Kontakten“ sprechen.

Für größere Leistungsschütze kommen sogenannte „Spiegelkontakte“ zum Einsatz: Während irgendein Hauptkontakt eines Schützes geschlossen ist, darf kein Spiegelkontakt (Hilfsöffner) geschlossen sein. Eine typische Anwendung für Spiegelkontakte ist die hochzuverlässige Überwachung des Schaltzustands eines Schützes in Steuerstromkreisen von Maschinen.



Quelle: Moeller AG

Kontaktsystem eines Schützes mit zwangsgeführten Kontakten. Ein Schließer ist verschweißt.

Schutzbeschaltung

Induktivitäten, wie Spulen von Ventilen oder Schützen, müssen zur Begrenzung von transienten Überspannungen beim Abschalten mit einer Schutzbeschaltung versehen werden. Damit werden die schaltenden Elemente vor Überbeanspruchung geschützt, insbesondere die gegen Überspannung besonders empfindlichen Halbleiter. In der Regel haben solche Beschaltungen einen Einfluss auf die Abfallverzögerung und daher auf den erforderlichen Mindestabstand der Schutzeinrichtung (➜ 3-42). Eine einfache Diode zur Funkenlöschung kann eine bis zu 14-fache Abschaltzeit zur Folge haben.

Schutzbeschaltung (über Induktivität)	Diode	Diodenkombination	Varistor	RC-Glied
Schutz gegen Überspannung	Sehr hoch	Hoch	Begrenzt	Hoch [1]
Abfallverzögerung	Sehr lang (sicherheitsrelevant)	Kurz (ist aber zu berücksichtigen)	Sehr kurz (nicht sicherheitsrelevant)	Sehr kurz [1] (nicht sicherheitsrelevant)

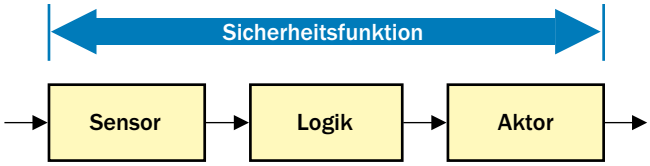
1) Es ist erforderlich, das Element exakt auf die Induktivität abzustimmen!

3 c

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Antriebstechnik

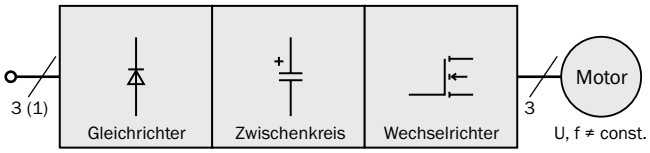
Antriebe stellen bei der Betrachtung von Sicherheitsfunktionen eine zentrale Teilfunktion dar, da u. a. von ihnen die Gefahr einer ungewollten Bewegung ausgeht.
Die Sicherheitsfunktion erstreckt sich vom Sensor bis zum Aktor (siehe Abbildung).



Der Aktor kann dabei mehrere Komponenten (Schütz, Antriebsregler, Feedback) umfassen, je nach technischer Ausführung und Sicherheitsfunktion. Brems- und Haltesysteme sind bei schwerkraftbelasteten Achsen ebenfalls zu berücksichtigen.
Der eigentliche Antrieb (Motor) ist nicht Gegenstand der Betrachtung.

Servo- und Frequenzumrichter

In der Antriebstechnik haben Drehstrommotoren mit Frequenzumrichtern die Gleichstromantriebe weitgehend ersetzt. Dabei erzeugt der Umrichter aus dem starren Drehstromnetz eine in Frequenz und Amplitude variable Ausgangsspannung. Je nach Ausführung können geregelte Gleichrichter die beim Abbremsen vom Zwischenkreis aufgenommene Energie in das Netz zurückspeisen.
Der Gleichrichter wandelt die aus dem Netz zugeführte elektrische Energie und führt sie dem Gleichspannungszwischenkreis zu. Der Wechselrichter formt daraus durch Pulsweitenmodulation mit Halbleiterschaltern ein geeignetes Drehfeld im Motor, um die gewünschten Regelfunktionen auszuführen. Übliche Schaltfrequenzen hierfür liegen zwischen 4 kHz und 12 kHz.



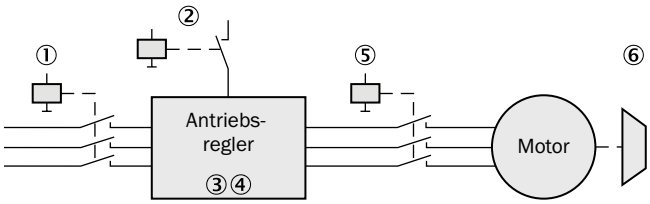
Zur Begrenzung transienter Überspannungen durch das Schalten von Lasten in Gleich- und Wechselstromkreisen sind Entstörbauelemente einzusetzen, insbesondere bei Einsatz von sensiblen elektronischen Baugruppen im gleichen Schaltschrank.

Checkliste

- Netzeingangsfilter am Frequenzumrichter eingebaut?
- Ausgangskreis des Umrichters mit Sinusfilter versehen?
- Verbindungsleitungen möglichst kurz und geschirmt?
- Komponenten und Schirme großflächig mit Erde bzw. PE verbunden?
- Kommutierungsdrossel zur Spitzenstrombegrenzung vorgeschaltet?

Sicherheitsfunktionen bei Servo- und Frequenzumrichter

Zur Umsetzung der Sicherheitsfunktion sind im Teilsystem Aktor unterschiedliche Abschaltpfade möglich:



① Netzschütz – ungünstig wegen langer Wiedereinschaltzeit, hoher Verschleiß wegen Anlaufstrom
② Reglerfreigabe – nicht sicherheitsgerichtet
③ Impulssperre „Sichere Wiederanlaufsperre (Halt)“
④ Sollwert – nicht sicherheitsgerichtet
⑤ Motorschütz – nicht bei allen Umrichtern erlaubt
⑥ Haltebremse – üblicherweise keine Arbeitsbremse

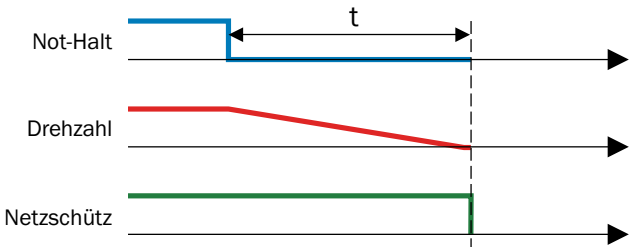
Eine Sicherheitsfunktion kann mit einem Antriebsregler auf verschiedene Arten realisiert werden:

- Durch **Trennen der Energiezufuhr**, z. B. durch ein Netzschütz ① oder ein Motorschütz ⑤.
- Durch überwachende **externe Anschaltungen**, z. B. durch Monitoring eines Drehgebers
- Durch direkt im Antriebsregler **integrierte Elementsicherheitsfunktionen** (➜ 3-76)

Trennen der Energiezufuhr

Bei Verwendung von Umrichtern ist die in den Zwischenkreiskapazitäten gespeicherte Energie bzw. die durch einen generatorischen Bremsprozess erzeugte Energie bei der Risikobewertung zu berücksichtigen.

Bei der Betrachtung des Restwegs ist davon auszugehen, dass die Bewegungssteuerung keine Bremsrampe einleitet. Der Antrieb läuft nach Abschaltung je nach Reibung mehr oder weniger schnell aus (Stopp-Kategorie 0). Die Ansteuerung einer Bremsrampe über Beeinflussung von Sollwert und/oder Reglerfreigabe und anschließendes Abschalten der Schütze oder der Impulssperre (Stopp-Kategorie 1) kann den Bremsweg verringern.



Drehzahlerfassung bei externen Überwachungseinheiten

Externe Überwachungseinheiten benötigen zur Überwachung des Antriebs Signale, die die aktuellen Bewegungsparameter melden. Die Signalquellen sind in diesem Fall Sensoren und Encoder. Diese müssen je nach erforderlichem PL oder SIL entweder als sichere Sensoren oder redundant ausgeführt werden.

Eine Stillstandsüberwachung kann alternativ auch durch das Rücklesen der vom auslaufenden Motor induzierten Spannung realisiert werden. Dies funktioniert auch bei drehzahlgeregelten Antrieben.

Im Antriebsregler integrierte Elementsicherheitsfunktionen

Sicherheitsfunktionen werden von sicherheitsbezogenen Teilen von Steuerungen (SRP/CS) ausgeführt. Sie umfassen die Teilfunktionen Erfassen (Sensor), Verarbeiten (Logikeinheit) und Schalten oder Einwirken (Aktor). In diesem Kontext sind im Antriebsregler integrierte sicherheitsgerichtete Funktionen als Elementsicherheitsfunktionen zu betrachten.

Sie werden generell in zwei Gruppen unterteilt:

- Sichere Stopp- und Bremsfunktionen: Sie dienen dem sicheren Stillsetzen des Antriebs (z. B. sicherer Stopp),
- Sichere Bewegungsfunktionen: Sie dienen der sicheren Überwachung des Antriebs während des Betriebs (z. B. sicher reduzierte Geschwindigkeit).

Generell hängt die notwendige Antriebsüberwachungsfunktion von der Anwendung ab. Randbedingungen sind u. a. Parameter wie der benötigte Bremsweg, das Vorhandensein von kinetischer Energie usw.

Die Abschaltreaktion ist je nach gewählter Elementsicherheitsfunktion eine andere. So führt z. B. das sicher abgeschaltete Drehmoment (STO) bei Stoppanforderung zum unkontrollierten Austrudeln der Bewegung. Beim sicheren Stopp (SS1 oder SS2) wird ein kontrolliertes Verzögern eingeleitet. Eventuell ist auch eine Kombination von Elementfunktionen als geeignete Maßnahme einzusetzen.

Mögliche Schnittstellen zur Ansteuerung von direkt im Antrieb integrierten sicheren Teilfunktionen sind:

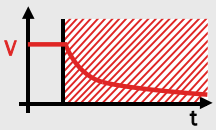
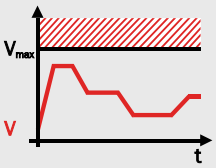
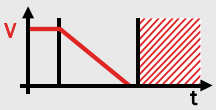
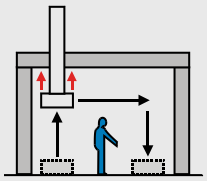
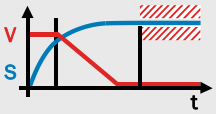
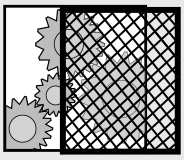
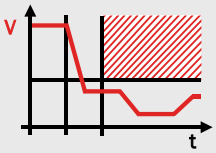
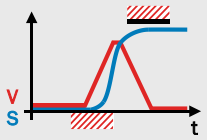
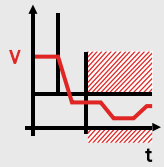
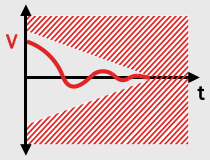
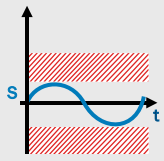
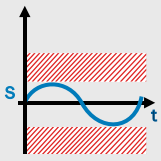
- Diskrete 24-V-Signale
- Führungskommunikation (Kanal 1)/24 V diskret (Kanal 2)
- Sichere Kommunikationssysteme (Feldbussysteme/Netzwerkschnittstelle)

Unter der Führungskommunikation versteht man eine Sollwertvorgabe von der Standardsteuerung zu Drehzahl oder Lage an den Antrieb über einen nicht sicherheitsgerichteten Feldbus oder ein Netzwerk.

Die Mehrzahl der heute verfügbaren Elementsicherheitsfunktionen für drehzahlveränderliche Antriebe sind in der harmonisierten Norm IEC 61800-5-2 „Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl“, Teil 5-2 „Anforderungen an die Sicherheit – Funktionale Sicherheit“ spezifiziert. Antriebsregler, die diese Norm erfüllen, können als sicherheitsrelevante Teile eines Steuerungssystems nach ISO 13849-1 bzw. IEC 62061 eingesetzt werden.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Antriebssicherheitsfunktionen nach EN 61800-5-2

	Sicher abgeschaltetes Drehmoment (STO) • Entspricht Stopp-Kategorie 0 nach IEC 60204-1 • Ungesteuertes Stillsetzen durch sofortige Unterbrechung der Energiezufuhr zu den Antriebselementen • Sichere Wiederanlaufsperre: verhindert unerwartetes Anlaufen des Motors		Sichere maximale Geschwindigkeit (SMS) [1] • Sichere Überwachung der Maximal-geschwindigkeit unabhängig von der Betriebsart
	Sicherer Stopp 1 (SS1) [2] • Entspricht Stopp-Kategorie 1 nach IEC 60204-1 • Gesteuertes Stillsetzen unter Beibehaltung der Energiezufuhr zu den Antriebs-elementen • Nach Stillsetzen oder unterhalb einer Geschwindigkeitsgrenze: Aktivierung der Funktion STO • Optional: Überwachung einer Bremsrampe		Sicheres Brems- und Haltesystem (SBS) [1] • Das sichere Brems- und Haltesystem steuert und überwacht zwei unabhängige Bremsen.
	Sicherer Stopp 2/sicherer Betriebshalt (SS2, SOS) [2] • Entspricht Stopp-Kategorie 2 nach IEC 60204-1 • Gesteuertes Stillsetzen unter Beibehaltung der Energiezufuhr zu den Antriebs-elementen • Nach Stillstand: sichere Überwachung der Antriebswellenposition in definiertem Bereich		Sichere Schutztürzuhaltung (SDL) [1] • Nur wenn alle Antriebe eines geschützten Bereichs im sicheren Zustand sind, wird die Schutztürzuhaltung entriegelt.
	Sicher begrenzte Geschwindigkeit (SLS) • Bei gegebener Zustimmung wird im Sonderbetrieb eine sicher reduzierte Geschwindigkeit überwacht. • Bei Überschreitung der Geschwindigkeit wird eine der sicheren Stopp-Funktionen ausgelöst.		Sicher begrenztes Schrittmaß (SLI) • Bei gegebener Zustimmung wird im Sonderbetrieb ein sicher begrenztes Schrittmaß überwacht. • Danach wird der Antrieb sicher gestoppt und verharrt an dieser Stelle.
	Sichere Bewegungsrichtung (SDI) • Zusätzlich zur sicheren Bewegung wird eine sichere Drehrichtung (rechts/links) überwacht.		Sicher überwachte Verzögerung (SMD) [1] • Sichere Überwachung der Verzögerung beim Stillsetzen mit vorausschauendem Verhalten
	Sicher überwachte Position (SLP) [1] • Zusätzlich zur sicheren Bewegung wird ein sicherer Absolutlagebereich überwacht. • Bei Verletzung der Grenzwerte wird der Antrieb über eine der Stopp-Funktionen stillgesetzt (Nachlauf beachten).		Sicher begrenzte Position (SPS) • Überwachung von sicheren Software-schaltern

Quelle: Bosch Rexroth AG

1) Nicht definiert in IEC 61800-5-2.
2) Nicht sicheres Abbremsen: Wenn keine Bremsrampe definiert wurde, dann wird eine Motorbeschleunigung während der Zeitverzögerung nicht erkannt.

→ Funktionale Sicherheit bei Leistungsantrieben IEC 61800-5-2 (B-Norm)

Fluidtechnische Steuerungen

Ventile

In allen Ventilen befinden sich bewegliche Schaltelemente (Kolbenschieber, Stößel, Sitze usw.), die aufgrund ihrer Funktion mechanischem Verschleiß unterliegen.

Die häufigsten Ursachen, die zum sicherheitsrelevanten Versagen von Ventilen führen, sind:

- Versagen von Funktionselementen des Ventils (Rückstellfunktion, Schaltfunktion, Dichtfunktion)
- Verunreinigung des Fluids

Verunreinigungen stellen eine nicht bestimmungsgemäße Verwendung dar und führen im Allgemeinen zu Funktionsstörungen. Generell gilt für alle Ventile, dass Verunreinigungen zum frühzeitigen Verschleiß führen. Damit sind die Grundlagen für die erfolgte Auslegung nach einer definierten Ausfallwahrscheinlichkeit nicht mehr gegeben.

Die bei monostabilen Ventilen verwendeten mechanischen Federn der Rückstellfunktion sind im Allgemeinen dauerfest ausgelegt und können entsprechend ISO 13849-2 als bewährt angesehen werden. Ein Fehlerausschluss für das Brechen der Feder hingegen kann nicht getätigt werden.

Wichtiges Unterscheidungsmerkmal der Ventile ist die Ausführung des beweglichen Schaltelements innerhalb des Ventils. Die jeweilige Ausfallrichtung der Ventile wird durch deren konstruktiven Aufbau wesentlich bestimmt. Während bei Sitzventilen mit Leckage zu rechnen ist, kann es bei Kolbenschieberventilen zur Blockade des Kolbenschiebers kommen.

Beim Sitzventil wird die Schaltfunktion durch das bewegliche Schaltelement (Ventilteller) gebildet, welches seine Lage relativ zu einem im Gehäuse eingearbeiteten Sitz verändert. Diese Ausführung ermöglicht es, mit kurzen Schalthüben große Querschnitte freizugeben. Durch eine entsprechende Gestaltung kann Leckagefreiheit erreicht werden.

Bei Kolbenventilen schließt oder öffnet der Ventilkörper durch Überfahren einer Bohrung bzw. Umfangsnut den Durchflussweg.Die Querschnittsänderungen des Kolbenschiebers relativ zu den Querschnittsänderungen im Gehäuse beeinflussen den Volumenstrom und werden als Steuerkanten bezeichnet. Ein zu beachtendes wesentliches Merkmal dieser Ventilkonstruktion ist die sogenannte Überdeckung (engl. lap). Sie bezeichnet den Abstand in Längsrichtung zwischen den feststehenden und den beweglichen Steuerkanten des Schieberventils. Der bei hartdichtenden Ventilen für die Funktion erforderliche Spalt zwischen Kolben und Gehäusebohrung führt zu einer Leckage bei anliegender Druckdifferenz.

Sicherheitstechnische Gestaltungsprinzipien

Beim sicherheitsbezogenen Einsatz von Ventilen kann eine Rückmeldung der Ventilstellung erforderlich sein.

Hierzu sind unterschiedliche Verfahren im Einsatz:

- Reedschalter, die von einem in den beweglichen Ventilkörper eingelassenen Magneten betätigt werden
- induktive Näherungsschalter, die von dem beweglichen Schaltelement des Ventils direkt betätigt werden
- analoge Wegerfassung des beweglichen Schaltelements des Ventils
- Druckmessung hinter dem Ventil

Bei elektromagnetisch betätigten Ventilen ist analog zu einem Schütz eine Schutzbeschaltung der Magnetspule erforderlich. Die sicherheitstechnische Betrachtung der Aktorik im Sinne der ISO 13849 bezieht sich auf die Ventile als leistungssteuernde Elemente. Das Versagen von Antrieben bzw. Arbeitselementen muss entsprechend der möglichen Auswirkungen ebenfalls betrachtet werden.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Filterkonzept

Die überwiegende Mehrzahl von Ausfällen fluidtechnischer Steuerungen lassen sich auf Störungen im Zusammenhang mit der Verschmutzung des jeweiligen Fluids zurückführen. Die zwei wesentlichen Ursachen sind:

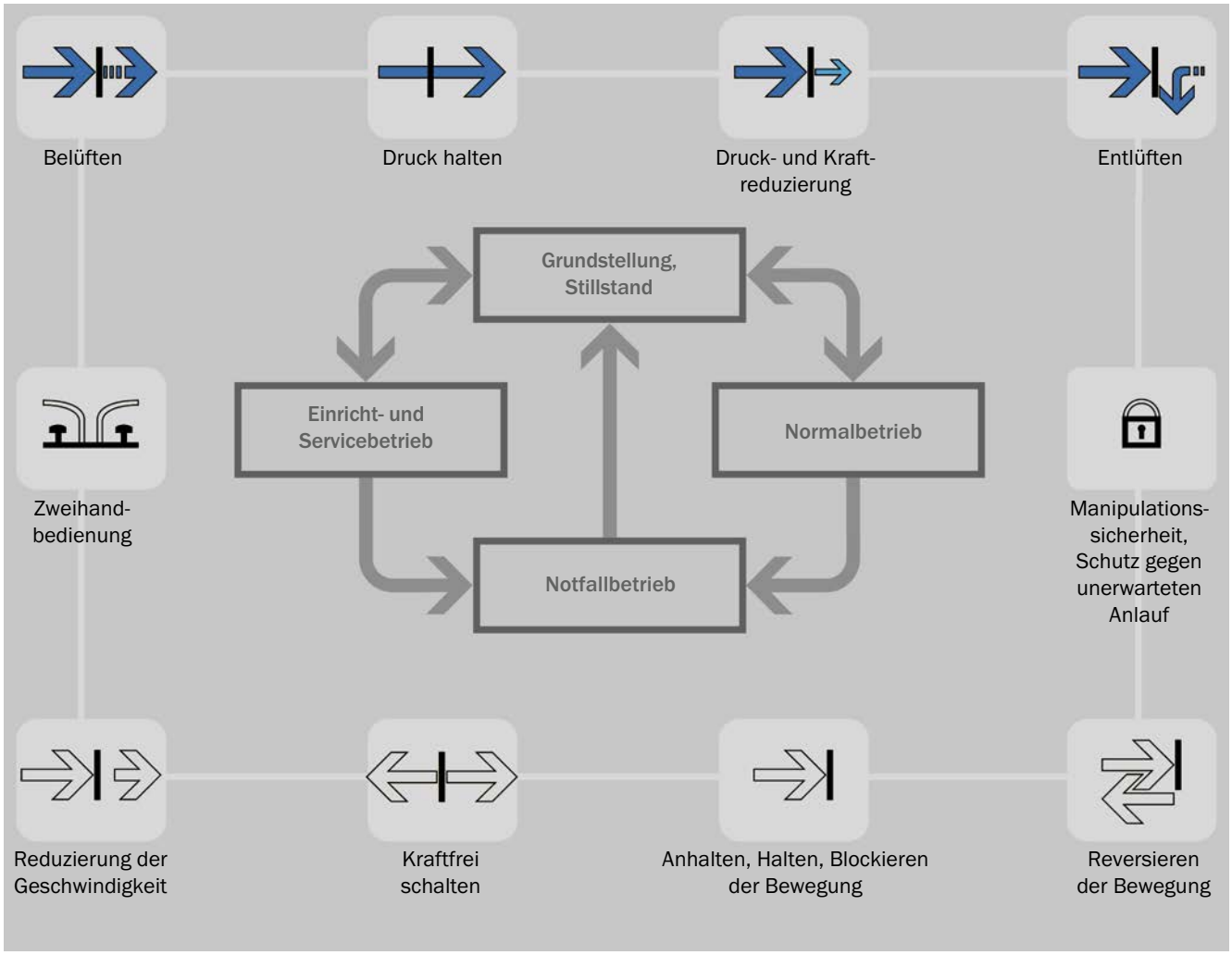
- bei der Montage anfallende Verunreinigungen = Montageschmutz (z. B. Späne, Formsand, Putzlappenfasern, Grundverschmutzung)
- im Betrieb anfallende Verunreinigungen = Betriebsschmutz (z. B. Umgebungsschmutz, Komponentenabrieb)

Diese Verunreinigungen müssen mithilfe von Filtern auf ein akzeptables Maß reduziert werden.
Unter einem Filterkonzept versteht man die geeignete Wahl eines Filterprinzips für die geforderte Aufgabe sowie die Anordnung der Filter an einem zweckmäßigen Wirkort. Das Filterkonzept muss so ausgelegt sein, dass es in der Lage ist, den zum gesamten System neu hinzukommenden Schmutz im Filter zurückzuhalten, um dadurch die geforderte Reinheit während der gesamten Gebrauchsdauer einzuhalten.

→ Bewährte Sicherheitsprinzipien: EN ISO 13849-2 (B-Norm)
→ Sicherheitstechnische Anforderungen an hydraulische/pneumatische Anlagen: ISO 4413, ISO 4414
→ Alterungsprozess von hydraulischen Ventilen: BIA-Report 6/2004

Sicherheitsgerichtete Pneumatik

Elektropneumatische Steuerungen realisieren Sicherheitsfunktionen, indem die von einer Logikeinheit bereitgestellten elektrischen Signale über eine Kombination von mehreren Ventilen als leistungssteuernde Elemente die Antriebs- bzw. Arbeitselemente beeinflussen. Typische sicherheitsrelevante Funktionen lassen sich als Elementsicherheitsfunktionen den Betriebsarten einer Maschine zuordnen. Neben den elektropneumatischen Steuerungen existieren auch rein pneumatische Steuerungen. Der Vorteil dieser Lösungen besteht darin, dass aufgrund des deterministischen Verhaltens der Pneumatik auf relativ einfache Art und Weise Elementsicherheitsfunktionen rein pneumatisch ausgeführt werden können.

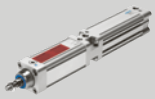
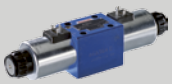


⇒ Direkte pneumatische Wirkung auf die Bewegung
⇒ Indirekte pneumatische Wirkung auf die Bewegung

Quelle: Festo AG & Co. KG – Leitfaden Sicherheitstechnik

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Produktübersicht Sicherheitstechnik für Maschinensicherheit

Sensoren	Logik	Leistungssteuernde Elemente
Sicherheits-Lichtvorhänge	Sicherheitsschaltgeräte	Elektrische Antriebsregler mit Elementsicherheitsfunktionen [1]
Sichere Kamerasysteme		
Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranken		Sicherheitspneumatikventile [2]
Einstrahl-Sicherheits-Lichtschranken		
Sicherheits-Laserscanner		
Verriegelungseinrichtungen		
Mit separatem Betätiger	Sicherheits-Steuerungen und Motion Control	Schütze [3]
Mit Betätiger für Zuhaltungen		Frequenzumrichter [4]
Für Schaltnocke, Schaltlineal		 Bremsen [2]
Magnetisch codiert		
RFID-codiert		Pneumatische Ventile [1]
induktiv	Sichere Sensorkaskade	
Not-Halt-Taster Zustimmschalter		
Motor-Feedback-Systeme, Encoder		 Hydraulische Ventile [1]
Lichtschranken, magnetische und induktive Sensoren		

Servicelösungen von SICK

Mit freundlicher Genehmigung von: 1) Bosch Rexroth AG, 2) FESTO AG & Co. KG, 3) Eaton Industries GmbH, 4) SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG.

→ Die Produkte von SICK finden Sie online im Produktfinder unter www.sick.com

3 c

Zusammenfassung: Entwerfen der Sicherheitsfunktion

Grundsätzliches

- Entwickeln Sie ein Sicherheitskonzept. Berücksichtigen Sie dabei die Merkmale der Maschine, die Merkmale der Umgebung, die menschlichen Eigenschaften, die Merkmale des Designs und die Merkmale von Schutzeinrichtungen.
- Entwerfen Sie die Sicherheitsfunktionen mit dem erforderlichen Sicherheitsniveau. Sicherheitsfunktionen werden aus den Teilsystemen Sensor, Logik und Aktor gebildet.
- Ermitteln Sie das Sicherheitsniveau jedes Teilsystems aus den sicherheitstechnischen Kenngrößen Struktur, Zuverlässigkeit, Diagnose, Resistenz und Prozessbedingungen.

Eigenschaften und Anwendung von Schutzeinrichtungen

- Ermitteln Sie die notwendigen Eigenschaften für Ihre Schutzeinrichtung. Benötigen Sie z. B. eine oder mehrere berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS), trennende Schutzeinrichtungen, bewegliche trennende Schutzeinrichtungen oder ortsbindende Schutzeinrichtungen?
- Ermitteln Sie die korrekte Positionierung und Dimension für jede Schutzeinrichtung, insbesondere den Sicherheits- bzw. Mindestabstand und die notwendige Schutzfeldgröße bzw. -höhe der jeweiligen Schutzeinrichtung.
- Integrieren Sie die Schutzeinrichtungen, wie es in der Betriebsanleitung angegeben und für das Sicherheitsniveau erforderlich ist.

Logikeinheiten

- Wählen Sie die richtige Logikeinheit in Abhängigkeit von der Anzahl der Sicherheitsfunktionen und der Logiktiefe aus.
- Nutzen Sie zertifizierte Funktionsbausteine und halten Sie Ihr Design überschaubar.
- Lassen Sie den Entwurf und die Dokumentation gründlich prüfen (Vier-Augen-Prinzip).

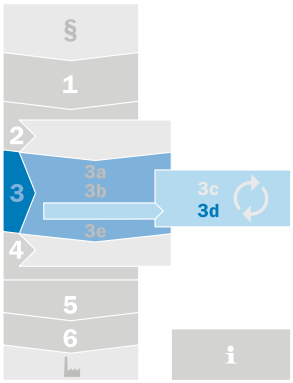
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Schritt 3d: Verifizieren der Sicherheitsfunktion

Bei der Verifizierung wird durch Analyse und/oder Prüfung dargelegt, dass die Sicherheitsfunktion in jeder Hinsicht die Ziele und Anforderungen der Spezifikation erfüllt.

Die Verifizierung besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen:

- Verifizierung der mechanischen Ausführung
- Verifizierung der funktionalen Sicherheit



Verifizieren der mechanischen Ausführung der Schutzeinrichtung

Bei mechanischen Schutzeinrichtungen ist die Ausführung zu prüfen, ob sie die Anforderungen hinsichtlich der Trennung oder Distanzierung zu den Gefahrstellen bzw. die Anforderungen hinsichtlich der Zurückhaltung von herausgeschleuderten Teilen oder Strahlungen erfüllen. Insbesondere sollte auf die Erfüllung der ergonomischen Anforderungen geachtet werden.

Trennende und/oder distanzierende Wirkung

- ausreichender Sicherheitsabstand und Dimensionierung (Übergreifen, Untergreifen etc.)
- geeignete Maschenweite oder Gitterabstände bei Zaunelementen
- ausreichende Festigkeit und geeignete Befestigung
- Auswahl der geeigneten Werkstoffe
- sichere Gestaltung
- Alterungsbeständigkeit
- Gestaltung der Schutzeinrichtung so, dass ein Klettern an der Schutzeinrichtung nicht möglich ist

Zurückhalten von herausgeschleuderten Teilen und/oder von Strahlung

- ausreichende Festigkeit, Stoß-, Bruchfestigkeit (Rückhaltevermögen)
- ausreichendes Rückhaltevermögen für die infrage kommende Strahlungsart, insbesondere bei thermischen Gefährdungen (Hitze, Kälte)
- geeignete Maschenweite oder Gitterabstände bei Zaunelementen
- ausreichende Festigkeit und geeignete Befestigung
- Auswahl der geeigneten Werkstoffe
- sichere Gestaltung
- Alterungsbeständigkeit

Ergonomische Anforderungen

- Durchsichtfähigkeit oder Transparenz (Beobachtung des Maschinenbetriebs)
- Gestaltung, Farbe, Ästhetik
- Handhabung (Gewicht, Betätigung etc.)

3 d

In diesem Kapitel ...

Verifizieren der mechanischen Ausführung 3-83
Verifizieren der funktionalen Sicherheit 3-85
Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL) gemäß ISO 13849-1 3-86
Alternative: Bestimmung des erreichten Sicherheits-Integritätslevels (SIL) gemäß IEC 62061 3-95
Hilfreiche Unterstützung 3-100
Zusammenfassung. 3-100

Die Prüfung der Wirksamkeit einer Schutzeinrichtung kann man anhand einer Checkliste durchführen:

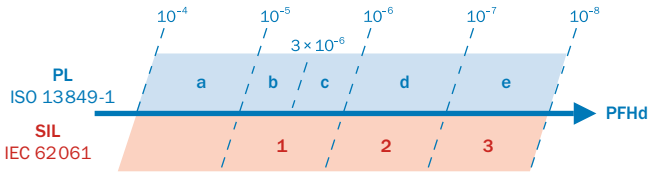
Beispiel: Checkliste für den Hersteller bzw. Ausrüster zur Installation von Schutzeinrichtungen (z. B. einer BWS)			
1.	Ist der Zugang bzw. Zugriff zum Gefahrbereich oder zur Gefahrstelle ausreichend verhindert und nur durch abgesicherte Bereiche (BWS, Schutztüren mit Verriegelungseinrichtung) möglich?	Ja ☐	Nein ☐
2.	Sind Maßnahmen getroffen worden, die bei Gefahrbereichs- oder Gefahrstellenabsicherung einen ungeschützten Aufenthalt im Gefahrbereich verhindern (mechanischer Hintertretschutz) oder überwachen, und sind diese gegen Entfernen gesichert oder verriegelt?	Ja ☐	Nein ☐
3.	Entspricht die Schutzeinrichtung dem geforderten Zuverlässigkeitsniveau (PL oder SIL) für die Sicherheitsfunktion?	Ja ☐	Nein ☐
4.	Wurde die maximale Stoppzeit bzw. Nachlaufzeit der Maschine nachgemessen und ist sie (an der Maschine und/oder in den Maschinenunterlagen) angegeben und dokumentiert?	Ja ☐	Nein ☐
5.	Wird der erforderliche Sicherheits- oder Mindestabstand der Schutzeinrichtung zur nächstliegenden Gefahrstelle eingehalten?	Ja ☐	Nein ☐
6.	Wird Untergreifen, Übergreifen, Untersteigen, Übersteigen oder Umgreifen der Schutzeinrichtung wirksam verhindert?	Ja ☐	Nein ☐
7.	Sind die Geräte bzw. Schalter ordnungsgemäß befestigt und nach erfolgter Justage gegen Verschieben gesichert?	Ja ☐	Nein ☐
8.	Sind die erforderlichen Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag wirksam (Schutzklasse)?	Ja ☐	Nein ☐
9.	Ist das Befehlsgerät zum Rücksetzen der Schutzeinrichtung bzw. zum Wiederanlaufen der Maschine vorhanden und korrekt angebracht?	Ja ☐	Nein ☐
10.	Sind die für die Schutzeinrichtungen verwendeten Komponenten entsprechend den Herstellerangaben eingebunden?	Ja ☐	Nein ☐
11.	Sind bei jeder Einstellung des Betriebsartenwahlschalters die angegebenen Schutzfunktionen wirksam?	Ja ☐	Nein ☐
12.	Sind die Schutzeinrichtungen während des gesamten Gefahr bringenden Zustands wirksam?	Ja ☐	Nein ☐
13.	Wird bei Aus- bzw. Abschalten der Schutzeinrichtungen sowie beim Umschalten der Betriebsarten oder beim Umschalten auf eine andere Schutzeinrichtung ein eingeleiteter Gefahr bringender Zustand gestoppt?	Ja ☐	Nein ☐
14.	Sind die der Schutzeinrichtung beiliegenden Hinweise für den Bediener gut sichtbar angebracht?	Ja ☐	Nein ☐

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Verifizieren der funktionalen Sicherheit

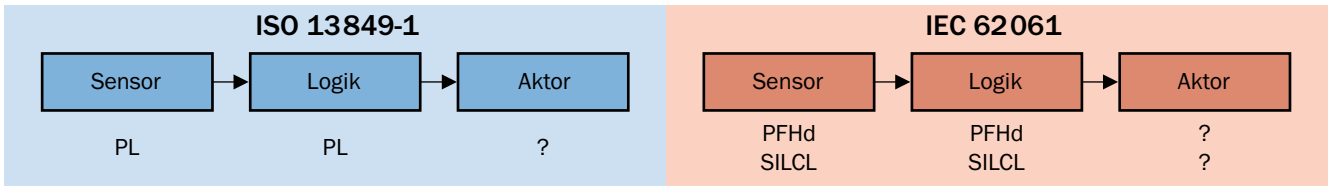
Entsprechend den Normen für die funktionale Sicherheit soll das Ist-Sicherheitsniveau mindestens dem Soll-Sicherheitsniveau entsprechen. Hier stehen zwei unterschiedliche Methoden zur Verfügung:

- Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL) gemäß EN ISO 13849-1
- Bestimmen des erreichten Sicherheits-Integritätslevels (SIL) gemäß IEC 62061



Mit beiden Methoden lässt sich überprüfen, ob das erforderliche Sicherheitsniveau erreicht werden kann. Als quantitative Kenngröße wird hierfür der PFHd-Wert ermittelt.
In den beiden nachfolgenden Beispielen (➜ 3-93 und ➜ 3-98) sind die Daten von Sensor und Logik vorhanden, die des Aktors nicht.

- Performance Level (PL): Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen, eine Sicherheitsfunktion unter vorhersehbaren Bedingungen auszuführen, um die erwartete Risikominderung zu erfüllen
- PFHd: Wahrscheinlichkeit eines Gefahr bringenden Ausfalls pro Stunde
- SILCL: SIL-Anspruchsgrenze (Eignung). Diskrete Stufe zur Feststellung der Integrität der Sicherheitsfunktion.



3 d

Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL) gemäß ISO 13849-1

Die ISO 13849-1 sieht zwei Verfahren zum Bestimmen des Performance Levels vor:

- **Vereinfachtes Verfahren** (➜ 3-87):
  Tabellarische Bestimmung des Performance Levels anhand der Performance Level jedes Teilsystems
- **Detailliertes Verfahren** (➜ 3-88):
  Berechnung des Performance Levels anhand der PFHd-Werte der Teilsysteme. (Dieses Verfahren ist in der Norm nur indirekt beschrieben.)

Mit dem detaillierten Verfahren können oft realistischere Performance Levels errechnet werden, als es mit dem vereinfachten Verfahren möglich ist. Für beide Verfahren sind zusätzlich strukturelle und systematische Aspekte zur Erreichung des Performance Levels zu berücksichtigen.

Teilsysteme

Eine Sicherheitsfunktion, die mithilfe steuerungstechnischer Maßnahmen realisiert wird, besteht i. d. R. aus Sensor, Logik und Aktor. Eine solche Kette kann einerseits diskrete Elemente wie Schutztürverriegelungen oder Ventile, andererseits auch komplexe Sicherheits-Steuerungen enthalten. Es ist in der Regel daher notwendig, eine Sicherheitsfunktion in Teilsysteme zu unterteilen.

In der Praxis werden für bestimmte Sicherheitsfunktionen vielfach bereits zertifizierte Teilsysteme verwendet. Diese Teilsysteme können z. B. Lichtvorhänge aber auch Sicherheits-Steuerungen sein, für die bereits „vorgerechnete“ PL bzw. PFHd-Werte vom Hersteller der Komponente geliefert werden.

Diese Werte gelten nur innerhalb einer vom Hersteller anzugebenden Gebrauchsdauer. Neben den quantifizierbaren Aspekten müssen auch die Maßnahmen gegen systematische Ausfälle verifiziert werden.

➜ Weitere Angaben hinsichtlich der Validierung: ISO 13849-2
➜ Eine Vielzahl von Informationen zur Verifizierung mit ISO 13849-1 finden Sie unter: www.dguv.de/bgia/13849

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Vereinfachtes Verfahren

Dieses Verfahren erlaubt auch ohne Kenntnis einzelner PFHd- Werte für viele Anwendungen eine hinreichend genaue Abschätzung des Gesamt-PL. Ist der PL aller Teilsysteme bekannt, kann mithilfe der nachfolgenden Tabelle der erreichte Gesamt-PL einer Sicherheitsfunktion bestimmt werden.

Dieses Verfahren basiert auf mittleren Werten innerhalb der PFHd-Wertebereiche für die verschiedenen PL. Daher kann die Anwendung des detaillierten Verfahrens (siehe nächster Abschnitt) genauere Ergebnisse liefern.

Vorgehensweise

- Ermitteln Sie den PL des Teilsystems bzw. der Teilsysteme mit dem niedrigsten PL in einer Sicherheitsfunktion: **PL (low)**
- Bestimmen Sie die Anzahl der Teilsysteme mit diesem PL (low): **n (low)**

Beispiel 1:

- Alle Teilsysteme erreichen den PL „e“, der niedrigste PL (low) ist also „e“
- Die Anzahl der Teilsysteme mit diesem PL ist 3 (also ≤ 3). Daher ist der erreichte Gesamt-PL „e“.
- Das Hinzufügen eines weiteren Teilsystems mit dem PL „e“ würde nach diesem Verfahren den Gesamt-PL auf „d“ reduzieren

Beispiel 2:

- Ein Teilsystem erreicht den PL „d“, zwei Teilsysteme den PL „c“. Der niedrigste PL (low) ist also „c“.
- Die Anzahl der Teilsysteme mit diesem PL ist 2 (also ≤ 2). Daher ist der erreichte Gesamt-PL „c“

PL (low) (niedrigster PL eines Teilsystems)	n (low) (Anzahl der Teilsysteme mit diesem PL)	PL (Maximal erreichbarer PL)
a	> 3	–
	≤ 3	a
b	> 2	a
	≤ 2	b
c	> 2	b
	≤ 2	c
d	> 3	c
	≤ 3	d
e	> 3	d
	≤ 3	e

→ Ist der PL nicht für alle Teilsysteme bekannt, so kann deren Sicherheitsniveau gemäß dem Abschnitt „Ermitteln des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems gemäß ISO 13849-1“ weiter unten ermittelt werden.

Detailliertes Verfahren

Ein wesentliches – jedoch nicht ausschließliches – Kriterium zur Bestimmung des PL ist die „Wahrscheinlichkeit eines Gefahr bringenden Ausfalls pro Stunde (PFHd)“ der Sicherheitskomponenten. Der resultierende PFHd-Wert setzt sich aus der Summe der Einzel-PFHd-Werte zusammen.

Darüber hinaus können vom Hersteller einer Sicherheitskomponente auch noch zusätzliche strukturelle Einschränkungen getroffen worden sein, die ebenfalls bei der Gesamtbetrachtung berücksichtigt werden müssen.

→ Ist der PFHd-Wert nicht für alle Teilsysteme bekannt, so kann deren Sicherheitsniveau ermittelt werden.
Siehe „Ermitteln des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems gemäß ISO 13849-1“ weiter unten.

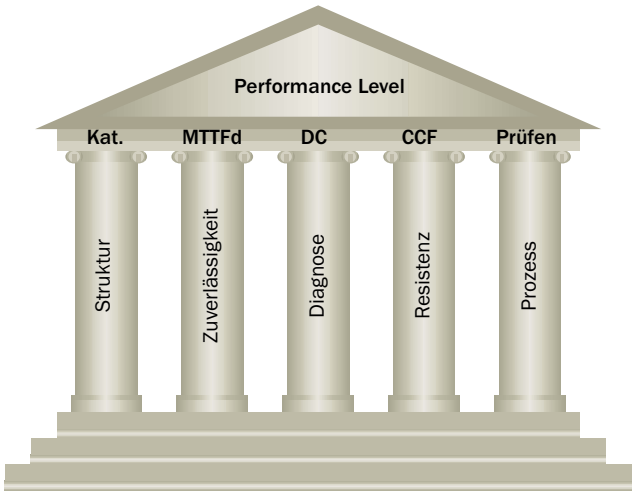
Ermitteln des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems gemäß ISO 13849-1

Ein sicherheitstechnisches Teilsystem kann durch eine Vielzahl einzelner Komponenten, auch unterschiedlicher Hersteller, gebildet werden. Beispiele solcher Komponenten sind:

- eingangsseitig: zwei Sicherheitsschalter an einer trennenden Schutzeinrichtung
- ausgangsseitig: ein Schütz und ein Frequenzumrichter zum Stoppen einer Gefahr bringenden Bewegung

In diesen Fällen muss der PL für dieses Teilsystem selbstständig ermittelt werden.
Der erreichte Performance Level für ein Teilsystem setzt sich aus den nachfolgenden Parametern zusammen:

- Struktur sowie Verhalten der Sicherheitsfunktion unter Fehlerbedingungen (Kategorie → 3-89)
- MTTFd-Werte einzelner Bauteile (→ 3-90)
- Diagnosedeckungsgrad (DC → 3-91)
- Fehler aufgrund gemeinsamer Ursache (CCF → 3-91)
- sicherheitsrelevante Softwareaspekte
- systematische Ausfälle



8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Kategorie der sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen (ISO 13849-1)

Teilsysteme sind in der Regel einkanalig oder zweikanalig aufgebaut. Einkanalige Systeme reagieren ohne weitere Maßnahmen auf Fehler mit einem Gefahr bringenden Ausfall. Durch zusätzliche testende Komponenten oder zweikanalige Systeme, die sich gegenseitig prüfen, lassen sich Fehler erkennen. Die Klassifizierung der Struktur erfolgt in der ISO 13849-1 durch Kategorien.

Kategorie	Kurzfassung der Anforderungen	Systemverhalten	Prinzipien zum Erreichen der Sicherheit
B	Die sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen und/oder ihre Schutzeinrichtungen sowie ihre Bauteile müssen in Übereinstimmung mt den zutreffenden Normen so gestaltet, gebaut, ausgewählt, zusammengestellt und kombiniert werden, dass sie den zu erwartenden Einflüssen standhalten können.	• Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.	Überwiegend durch Auswahl von Bauteilen charakterisiert
1	Die Anforderungen von Kategorie B müssen erfüllt sein. Bewährte Bauteile und bewährte Sicherheitsprinzipien müssen angewendet werden.	• Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen, aber die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ist geringer als bei Kategorie B.	
2	Die Anforderungen von Kategorie B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Die Sicherheitsfunktion muss in geeigneten Zeitabständen durch die Maschinensteuerung geprüft werden (Testrate 100-mal höher als Anforderungsrate).	• Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion zwischen den Prüfungen führen. • Der Verlust der Sicherheitsfunktion wird durch die Prüfung erkannt.	Überwiegend durch die Struktur charakterisiert
3	Die Anforderungen von Kategorie B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet sein, dass ... • ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt und • wann immer in angemessener Weise machbar, der einzelne Fehler erkannt wird.	• Wenn der einzelne Fehler auftritt, bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. • Einige, aber nicht alle Fehler werden erkannt. • Eine Anhäufung unerkannter Fehler kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.	
4	Die Anforderungen von Kategorie B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet sein, dass: • ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt **und** • der einzelne Fehler bei oder vor der nächsten Anforderung an die Sicherheitsfunktion erkannt wird **oder** • wenn dies nicht möglich ist, eine Anhäufung von Fehlern nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt.	• Wenn Fehler auftreten, dann bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. • Die Fehler werden rechtzeitig erkannt, um einen Verlust der Sicherheitsfunktion zu verhindern.	

Mittlere Zeit bis zu einem Gefahr bringenden Ausfall (MTTFd)
MTTF ist die Abkürzung für „mittlere Zeit bis zum Ausfall“ (englisch: Mean Time To Failure). Für die Betrachtung gemäß ISO 13849-1 sind nur die Gefahr bringenden Ausfälle zu betrachten (daher „d“, englisch für „dangerous“).
Dieser Wert stellt eine theoretische Kenngröße dar und drückt aus, wie wahrscheinlich ein Gefahr bringender Ausfall einer Komponente (nicht des gesamten Teilsystems) innerhalb der Lebensdauer der Komponente ist. Die eigentliche Lebensdauer des Teilsystems ist immer kürzer.

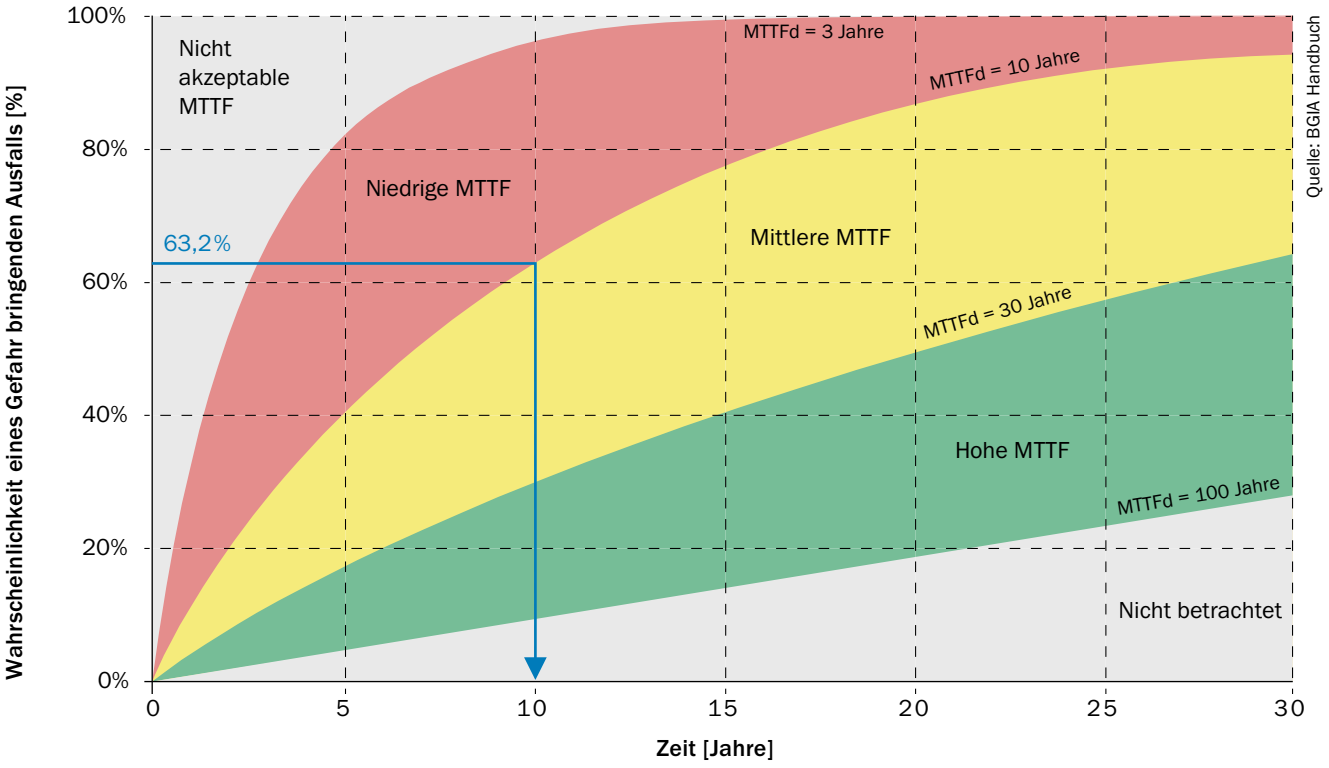
Der MTTF-Wert lässt sich aus den Ausfallraten ableiten. Dabei gilt:

- B_{10}-Werte für elektromechanische oder pneumatische Komponenten. Hier hängt der Verschleiß und damit die maximal zulässige Einsatzdauer von der Schalthäufigkeit ab. B_{10} gibt die Anzahl der Schaltzyklen an, bis 10 % der Komponenten ausfallen.
- Der B_{10d}-Wert gibt die Anzahl der Schaltzyklen an, bis 10 % der Komponenten Gefahr bringend ausfallen. Liegt der B_{10d}- Wert nicht vor, kann pauschal ein $B_{10d} = 2 \times B_{10}$ angenommen werden.
- Bei elektronischen Komponenten: Ausfallrate λ. Oft wird die Ausfallrate in FIT (Failures In Time) angegeben. Ein FIT ist dabei ein Ausfall je 10^9 Stunden.

Die ISO 13849-1 fasst die MTTFd-Werte in Bereiche zusammen:

Bezeichnung	Bereich
Niedrig	3 Jahre ≤ MTTFd < 10 Jahre
Mittel	10 Jahre ≤ MTTFd < 30 Jahre
Hoch	30 Jahre ≤ MTTFd < 100 Jahre

Aus den Komponentenangaben lässt sich für das Gesamtsystem die mittlere Zeit bis zu dem Gefahr bringenden Ausfall in Jahren (MTTFd) errechnen.
Um den Einfluss der Zuverlässigkeit nicht überzubewerten, wurde der nutzbare Höchstwert der MTTFd auf 100 Jahre begrenzt.



8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Diagnosedeckungsgrad (DC)

Das Sicherheitsniveau lässt sich erhöhen, wenn im Teilsystem eine Fehlererkennung implementiert wird. Der Diagnosedeckungsgrad (DC – Diagnostic Coverage) ist ein Maß für die Fähigkeit, gefährliche Fehler aufzudecken. Schlechte Diagnose deckt nur wenige, gute Diagnose deckt viele oder sogar alle Fehler auf.

Anstelle der genauen Analyse (FMEA) schlägt die ISO 13849-1 Maßnahmen vor und quantifiziert den DC. Auch hier erfolgt eine Unterteilung in verschiedene Bereiche.

Bezeichnung	Bereich
Kein	DC < 60 %
Niedrig	60 % ≤ DC < 90 %
Mittel	90 % ≤ DC < 99 %
Hoch	99 % ≤ DC

Ausfälle gemeinsamer Ursache – Resistenz

Externe Einflüsse (z. B. Spannungspegel, Übertemperatur) können gleiche Komponenten gleichzeitig unbrauchbar machen, egal wie selten diese ausfallen oder wie gut diese getestet werden. (Auch zwei Augen können keine Zeitung mehr lesen, wenn plötzlich das Licht ausfällt.) Diese Ausfälle gemeinsamer Ursache sind stets zu vermeiden (CCF – Common Cause Failure).

Anhang F von ISO 13849-1 bietet eine vereinfachte, auf einem Punktesystem basierende Methode, um zu ermitteln, ob ausreichende Maßnahmen gegen CCF getroffen worden sind. Dabei ergibt die Anwendung entsprechender Maßnahmen eine Punktzahl. Werden mindestens 65 Punkte erreicht, dann können die CCF-Maßnahmen als ausreichend angesehen werden.

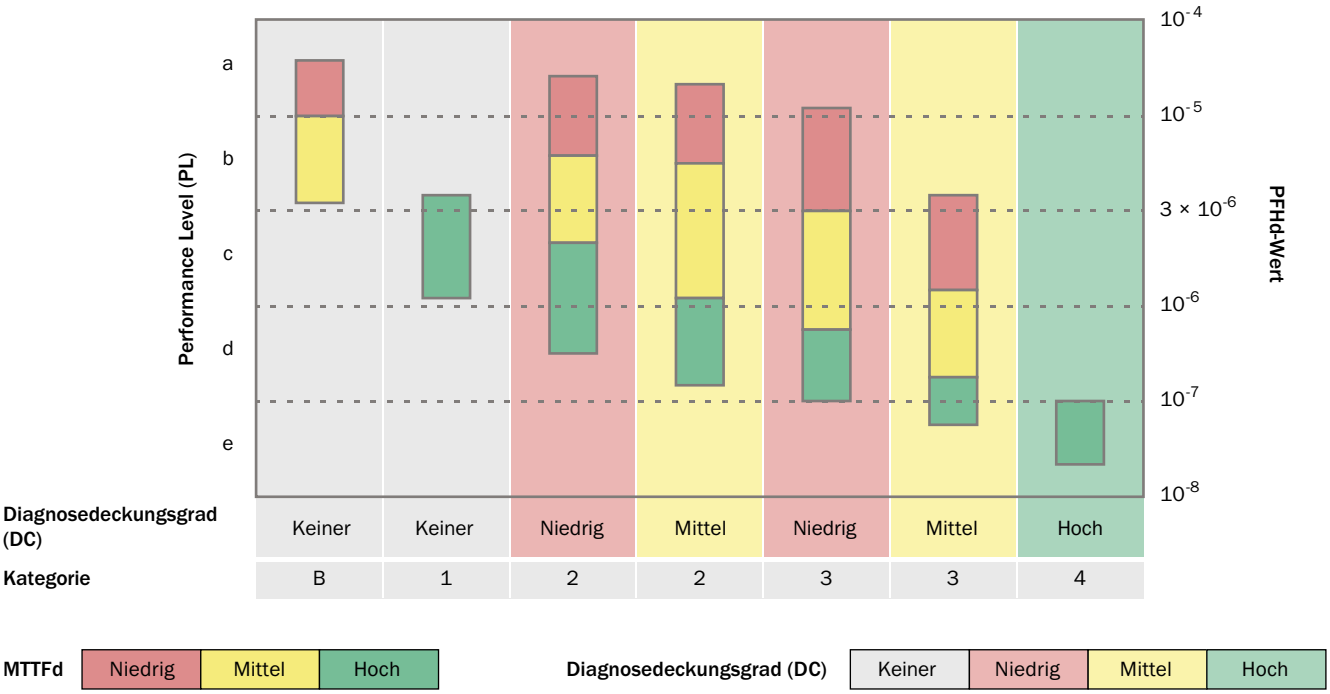
Anforderung		Maximaler Wert	Mindestanforderung
Trennung	Trennung der Signalkreise, getrennte Verlegung, Isolierung, Luftstrecken etc.	15	**Gesamtwert ≥ 65**
Diversität	Verschiedene Technologien, Komponenten, Wirkungsweisen, Designs	20	
Entwurf, Anwendung, Erfahrung	Schutz gegen Überlast, Überspannung, Überdruck etc. (je nach Technologie)	15	
	Verwendung von über Jahre bewährten Komponenten und Verfahren	5	
Analyse, Beurteilung	Verwendung einer Fehleranalyse zur Vermeidung von Fehlern gemeinsamer Ursache	5	
Kompetenz, Ausbildung	Schulung der Designer, um Ursachen und Folgen von CCF zu verstehen und zu vermeiden	5	
Umwelteinfluss	Test des Systems auf Beeinflussung durch EMV	25	
	Test des Systems auf Beeinflussung durch Temperatur, Schock, Vibration etc.	10	

Prozess

Um sicherzustellen, dass die vorangegangenen Aspekte richtig in der Hardware und Software umgesetzt, ausführlich getestet werden (Vier-Augen-Prinzip) und eine umfassende Dokumentation Rückschlüsse über Versions- und Änderungsstände gibt, sind verschiedene Hilfestellungen in der Norm zu berücksichtigen.

Der Prozess der richtigen Umsetzung sicherheitsrelevanter Themen ist Führungs- und Managementaufgabe und umfasst ein geeignetes Qualitätsmanagement.

Ermitteln des PL eines Teilsystems
Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen dem MTTFd-Wert (je Kanal), dem DC sowie der Kategorie.

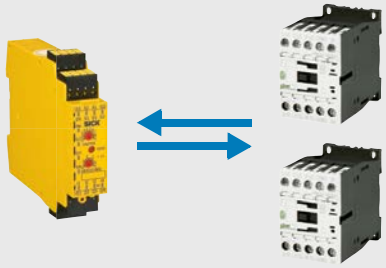


Ein Performance Level „d“ kann z. B. mit einer zweikanaligen Steuerung (Kategorie 3) realisiert werden. Dies kann entweder mit einer guten Bauteilqualität (MTTFd = mittel) erreicht werden, wenn fast alle Fehler erkannt werden (DC = mittel) oder es wird mit sehr guter Bauteilqualität (MTTFd = hoch) erreicht, wenn viele Fehler erkannt werden (DC = niedrig).

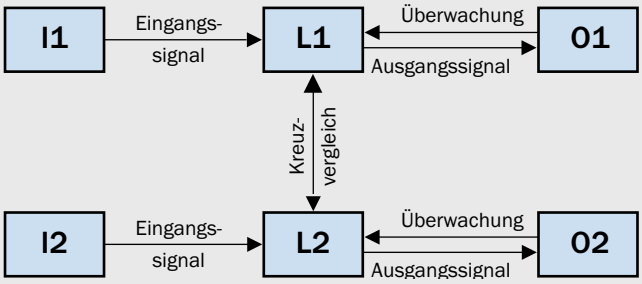
Hinter dieser Vorgehensweise verbirgt sich ein komplexes mathematisches Modell, das der Anwender jedoch nicht bemerkt. Um den pragmatischen Ansatz zu gewährleisten, sind die Parameter Kategorie, MTTFd und DC vordefiniert.

Beispiel: Ermittlung des PL des Teilsystems „Aktor“

1) Definition des Teilsystems „Aktor“
Das Teilsystem „Aktor“ besteht aus zwei Schützen mit „Rückführung“. Durch die gegebene Zwangsführung der Schützkontakte ist es möglich, ein sicherheitsrelevantes Versagen der Schütze zu erkennen (EDM).
Die Logikeinheit UE410 selbst gehört nicht zum Teilsystem „Aktor“, wird aber für Diagnosezwecke verwendet.



2) Festlegung der Kategorie
Aufgrund der Ein-Fehler-Sicherheit (mit Fehlererkennung) ergibt sich die **Eignung für Kategorie 3 oder 4**.
Hinweis: Die endgültige Bestimmung der Kategorie erfolgt nach Festlegung des DC-Wertes.



3) Bestimmung der MTTFd je Kanal
Da es sich bei Schützen um verschleißbehaftete Komponenten handelt, muss mittels des B10d-Wertes und der geschätzten Schalthäufigkeit (nop) die MTTFd ermittelt werden. Es gilt die nebenstehende Formel:
Die Anzahl der Schalthäufigkeit setzt sich zusammen aus Betriebsstunden/Tag [hop], Werktage/Jahr [dop] sowie der Schalthäufigkeit je Stunde [C]:
Randbedingungen laut Hersteller:

- B_{10d} = 2600000
- C = 1/h (Annahme)
- d_{op} = 220 d/a
- h_{op} = 16 h/d

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich dann eine **MTTFd von 7386 Jahren** je Kanal, welche als „hoch“ interpretiert wird.

$$MTTFd = \frac{B_{10d}}{0,1 \times n_{op}}$$

$$MTTFd = \frac{B_{10d}}{0,1 \times d_{op} \times h_{op} \times C}$$

MTTFd	Bereich
Niedrig	3 Jahre ≤ MTTFd < 10 Jahre
Mittel	10 Jahre ≤ MTTFd < 30 Jahre
Hoch	30 Jahre ≤ MTTFd < 100 Jahre

4) Bestimmung des DC
Aufgrund der zwangsgeführten Kontakte kann gemäß der Maßnahmentabelle aus EN ISO 13849-1 ein **hoher DC (99 %)** abgeleitet werden.

DC	Bereich
Kein	DC < 60 %
Niedrig	60 % ≤ DC < 90 %
Mittel	90 % ≤ DC < 99 %
Hoch	99 % ≤ DC

Beispiel: Ermittlung des PL des Teilsystems „Aktor“

5) Bewertung der Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen gemeinsamer Ursache

Bei mehrkanaligen Systemen sind Maßnahmen zur Vermeidung des Common-Cause-Effekts umgesetzt. Die Bewertung der Maßnahmen erreicht die **Punktzahl von 75**. Die Mindestanforderung ist somit erfüllt.

Anforderung	Wert	Mindest-anforderung
Trennung	15	Gesamtwert 75 ≥ 65
Diversität	20	
Entwurf, Anwendung, Erfahrung	20	
Analyse, Beurteilung	5	
Kompetenz/Ausbildung	5	
Umwelteinfluss	35	
	75	

6) Bewertung der Prozessmaßnahmen

Ebenso müssen systematische Aspekte zur Fehlervermeidung und -beherrschung berücksichtigt werden. Beispielsweise:

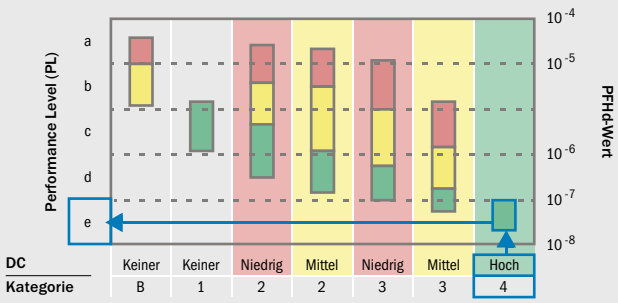
- Organisation und Kompetenz
- Designregeln (z. B. Spezifikationsvorlagen, Codierungsrichtlinien)
- Prüfkonzept und Prüfkriterien
- Dokumentation und Konfigurationsmanagement

✔

7) Ergebnis

Aus der Abbildung zur Bestimmung des PL für das Teilsystem (➜ 3-86) kann der PL für das Teilsystem bestimmt werden. In diesem Fall wird der **PL „e“ erreicht**.

Der sich ergebende **PFHd-Wert von 2,47 × 10^{-8}** für dieses Teilsystem kann aus einer detaillierten Tabelle der ISO 13849-1 entnommen werden. Durch den hohen DC ergibt sich, dass die zweikanalige Struktur die Anforderungen der **Kategorie 4 erfüllt**.



➜ Mit den resultierenden Daten für das Teilsystem kann nun der erreichte Performance Level für die gesamte Sicherheitsfunktion ermittelt werden (siehe „Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL) gemäß ISO 13849-1“ ➜ 3-86).

8008007/2015-07-07

Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Alternative: Bestimmung des erreichten Sicherheits-Integritätslevels (SIL) gemäß IEC 62061

Die Bestimmung des erreichten Sicherheits-Integritätslevels (SIL) erfolgt auf Basis folgender Kriterien:

- der Sicherheitsintegrität der Hardware
  - strukturelle Einschränkungen (SILCL)
  - Wahrscheinlichkeit Gefahr bringender zufälliger Hardwareausfälle (PFHd)
- der Anforderungen zur systematischen Sicherheitsintegrität
  - Vermeidung von Ausfällen
  - Beherrschung systematischer Fehler

Hierbei wird – ähnlich wie bei der ISO 13849-1 – die Sicherheitsfunktion zunächst in Funktionsblöcke zerlegt und anschließend in Teilsysteme überführt.

Sicherheitsintegrität der Hardware

Bei der Betrachtung der gesamten Sicherheitsfunktion wird die Sicherheitsintegrität der Hardware dadurch bestimmt, dass ...

- der niedrigste SILCL eines Teilsystems den maximal erreichbaren SIL des Gesamtsystems einschränkt.
- der PFHd der gesamten Steuerung aus der Summe der einzelnen PFHd die Werte in der Abbildung „Verifizieren der funktionalen Sicherheit“ ➜ 3-99 nicht überschreitet.

Beispiel

In obiger Abbildung erfüllen alle Teilsysteme den SILCL3. Die Addition der PFHd-Werte ist kleiner als 1×10^{-7}. Die relevanten Maßnahmen zur systematischen Sicherheitsintegrität sind umgesetzt. Daher erfüllt die Sicherheitsfunktion SIL3.

Systematische Sicherheitsintegrität

Wenn verschiedene Teilsysteme miteinander zu einer Steuerung verbunden werden, dann müssen zusätzlich Maßnahmen zur systematischen Sicherheitsintegrität getroffen werden.

Zu den Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Hardwarefehler zählen u. a.

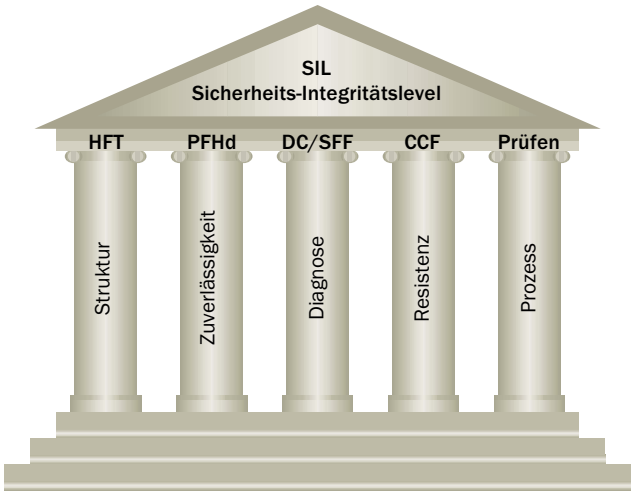
- Entwurf in Übereinstimmung mit dem Plan der funktionalen
- Sicherheit
- richtige Auswahl, Kombination, Anordnungen, Zusammenbau und Installation von Teilsystemen, einschließlich Verkabelung,Verdrahtung und anderer Verbindungen
- Verwendung innerhalb der Spezifikation des Herstellers
- Beachtung der Anwendungshinweise des Herstellers, z. B. Katalogangaben, Installationsanweisungen und Anwendung bewährter Konstruktionspraxis
- Berücksichtigung der Anforderungen hinsichtlich der elektrischen Ausrüstung gemäß IEC 60204-1

Darüber hinaus muss die Beherrschung systematischer Fehler berücksichtigt werden, wie z. B.

- Nutzung von Energieabschaltung zur Einleitung eines sicheren Zustands
- Maßnahmen zur Beherrschung der Auswirkungen von Fehlern und anderer Effekte, die von einem beteiligten Datenkommunikationsprozess herrühren, einschließlich Übertragungsfehlern, Wiederholungen, Verlust, Einfügung, falscher Abfolge, Verfälschung, Verzögerung etc.

Ermitteln des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems gemäß IEC 62061

Auch in der IEC 62061 ist die Ermittlung des Sicherheitsniveaus von Teilsystemen, die aus der Verschaltung einzelner Komponenten bestehen, möglich.



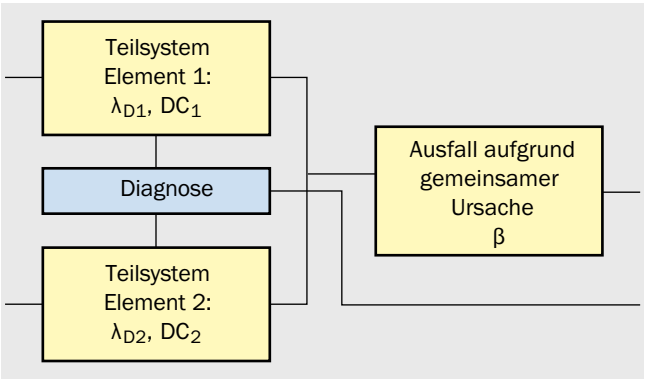
Der erreichte Sicherheits-Integritätslevel (SIL) für ein Teilsystem setzt sich aus den nachfolgenden Parametern zusammen:

- Hardwarefehlertoleranz (HFT)
- PFHd-Wert
- Anteil sicherer Ausfälle (SFF)
- Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache (CCF)
- sicherheitsrelevante Softwareaspekte
- systematische Ausfälle

Hardwarefehlertoleranz (HFT)

In der IEC 62061 wird die Struktur über Teilsystemtypen und die Hardwarefehlertoleranz (HFT) bestimmt.

HFT 0 bedeutet, dass mit einem einzelnen Fehler in der Hardware die Schutzwirkung aufgehoben sein kann (einkanalige Systeme). HFT 1 bedeutet, dass trotz eines einzelnen Fehlers in der Hardware die Schutzwirkung erhalten bleibt (zweikanalige Systeme).



Wahrscheinlichkeit Gefahr bringender zufälliger Hardwareausfälle (PFHd)

Neben den strukturellen Einschränkungen muss für jedes Teilsystem auch die „Wahrscheinlichkeit Gefahr bringender zufälliger Hardwareausfälle“ berücksichtigt werden. Anhand eines mathematischen Modells existiert für jeden Teilsystemtyp eine Formel zur Bestimmung des PFHd- Wertes, wobei die folgenden Parameter in die Berechnung eingehen:

- Diagnosedeckungsgrad
- Gebrauchsdauer
- Diagnosetestintervall
- Ausfallraten der Komponenten (λ_D)
- Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache (Common-Cause-Faktor β)

HFT = 1

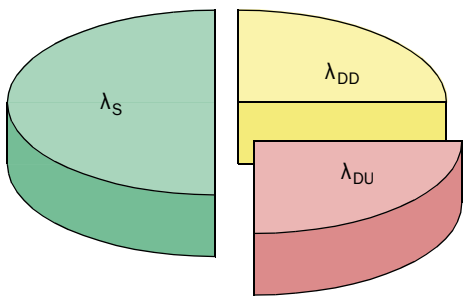
Diagnose mit DC_1 and DC_2

$$PFHd = (1-\beta)^2 \times \left\{ \frac{\lambda_{D1} \times \lambda_{D2} \times (DC_1 + DC_2) \times T_D}{2} + \frac{\lambda_{D1} \times \lambda_{D2} \times (2 - DC_1 - DC_2) \times T_P}{2} + \beta \times \frac{\lambda_{D1} + \lambda_{D2}}{2} \right\}$$

$$PFHd \approx \beta \times \frac{\lambda_{D1} + \lambda_{D2}}{2}$$

Anteil sicherer Ausfälle (DC/SFF)

DC = 50 %
SFF = 75 %



Der „Anteil sicherer Ausfälle“, die SFF (safe failure fraction), ergibt sich aus dem Diagnosedeckungsgrad DC (λ_{DD} /λ_{DU}) sowie dem Anteil „sicherer Fehler“ (λ_S).

$$SFF = \frac{\sum \lambda_S + \sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_S + \sum \lambda_D}$$

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache (CCF) – Resistenz
Auch die IEC 62061 verlangt eine Reihe von Betrachtungen bezüglich der Resistenz gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache. Abhängig von der Anzahl der positiven Umsetzungen ergibt sich ein Common-Cause-Faktor (β).

Anforderung		Maximaler Wert
Trennung	Trennung der Signalkreise, getrennte Verlegung, Isolierung, Luftstrecken etc.	**15**
Diversität	Verschiedene Technologien, Komponenten, Wirkungsweisen, Designs	**20**
Entwurf, Anwendung, Erfahrung	Schutz gegen Überlast, Überspannung, Überdruck etc. (je nach Technologie)	**15**
	Verwendung von über Jahre bewährten Komponenten und Verfahren	**5**
Analyse, Beurteilung	Verwendung einer Fehleranalyse zur Vermeidung von Fehlern gemeinsamer Ursache	**5**
Kompetenz, Ausbildung	Schulung der Designer, um Ursachen und Folgen von CCFs zu verstehen und zu vermeiden	**5**
Umwelt-einfluss	Test des Systems auf Beeinflussung durch EMV	**25**
	Test des Systems auf Beeinflussung durch Temperatur, Schock, Vibration etc.	**10**

Wert	CCF-Faktor (β)
≤ 35	10 %
36 bis 65	5 %
66 bis 85	2 %
86 bis 100	1 %

Prozess
Aufgrund der starken Ausrichtung der IEC 62061 auf programmierbare elektrische Systeme finden sich darin – zusätzlich zu den vorangegangen beschriebenen Aspekten (V-Modell, Qualitätsmanagement etc.) – noch zahlreiche detailliertere Hinweise und Anforderungen zum richtigen Umgang bei der Softwareentwicklung sicherheitsbezogener Systeme.

Ergebnis – Bestimmen des SIL für das Teilsystem
Für jedes Teilsystem wird zunächst separat die Sicherheitsintegrität der Hardware bestimmt:
Handelt es sich bei den Teilsystemen um bereits entwickelte Teilsysteme – wie es z. B. bei Sicherheits-Lichtvorhängen der Fall ist – liefert ein Hersteller die entsprechenden Kenndaten im Rahmen seiner technischen Spezifikation mit. Ein solches Teilsystem ist in der Regel durch die Angabe von SILCL, PFHd und Gebrauchsdauer ausreichend beschrieben.
Für Teilsysteme, die aus Teilsystemelementen bestehen, wie z. B. Verriegelungseinrichtungen bei Schutztüren oder Schützen, muss die Sicherheitsintegrität dagegen ermittelt werden.

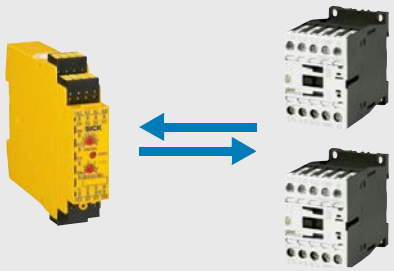
SIL-Anspruchsgrenze (SILCL: SIL claim limit)
Nachdem man die Hardwarefehlertoleranz (Architektur) festgelegt hat, lässt sich der maximal erreichbare SIL (SIL-Anspruchsgrenze) für das Teilsystem ermitteln.

Anteil sicherer Ausfälle (SFF)	Hardwarefehlertoleranz	
	0	1
< 60 %	–	SIL1
60 bis < 90 %	SIL1	SIL2
90 bis < 99 %	SIL2	SIL3
≥ 99 %	SIL3	SIL3

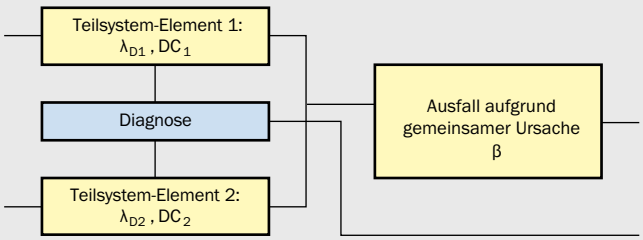
Ein zweikanaliges System mit HFT 1 kann mit einer SFF von 90 % den SILCL3 für sich beanspruchen.

Beispiel: Ermittlung von SILCL und PFHd des Teilsystems „Aktor“

1) Definition des Teilsystems „Aktor“
Das Teilsystem „Aktor“ besteht aus zwei Schützen mit „Rückführung“. Durch die gegebene Zwangsführung der Schütze ist es möglich, ein sicherheitsrelevantes Versagen der Schütze zu erkennen (EDM).
Die Logikeinheit UE410 selbst gehört nicht zum Teilsystem „Aktor“, wird aber für Diagnosezwecke verwendet.



2) Festlegung der Hardwarefehlertoleranz (HFT)
Aufgrund der Ein-Fehler-Sicherheit (mit Fehlererkennung) ergibt sich eine HFT = 1.



3) Bestimmung der PFHd
a) Anhand der Fehlerrate λD
Da es sich bei Schützen um verschleißbehaftete Komponenten handelt, muss mittels des B10d-Wertes und der geschätzten Schalthäufigkeit die Schalthäufigkeit je Stunde [C] ermittelt werden.
Die IEC 62061 macht keine Aussage zum Verhalten mechanischer Bauteile. Deshalb wird die Fehlerrate λD in Anlehnung an ISO 13849-1 ermittelt. Es wird angenommen, dass die Fehlerrate während der Einsatzdauer konstant bleibt.
Randbedingungen laut Hersteller:
- B10d = 2600000
- C = 1/h (Annahme)

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich dann ein λD von 3,8 × 10–8 $\frac{1}{h}$.

b) Anhand des CCF-Faktors (β)
Bei mehrkanaligen Systemen sind Maßnahmen zur Vermeidung des Common-Cause-Effekts notwendig. Der Einfluss wird anhand von Maßnahmen gemäß den Vorgaben aus IEC 62061 ermittelt. Im Beispiel ist der Faktor 5 % (siehe unten: „5) Bewertung der Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlern gemeinsamer Ursache“)
PFHd ≈ 1,9 × 10–9.

$$\lambda_D = \frac{1}{MTTF_d} = \frac{0,1 \times C}{B_{10d}}$$

Wert	CCF-Faktor (β)
≤ 35	10 %
36 bis 65	5 %
66 bis 85	2 %
86 bis 100	1 %

$$PFHd \approx \beta \times (\lambda_{D1} + \lambda_{D2}) \times ½$$

$$\approx \beta \times \lambda_D$$

$$\approx 0,05 \times 0,1 \times \frac{C}{B_{10d}}$$

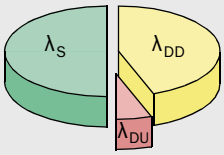
$$PFHd \approx 1,9 \times 10^{-9}$$

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Beispiel: Ermittlung von SILCL und PFHd des Teilsystems „Aktor“

4) Bestimmung des SFF über DC
Aufgrund der zwangsgeführten Kontakte wird ein „hoher“ DC (99 %) abgeleitet. D. h. von 70 % Gefahr bringenden Fehlern λD für Schütze werden 99 % erkannt. Demzufolge ist der SFF = 30 % + 69.3 % = 99.3 %.

DC = 99 %
SFF = 99.3 %



5) Bewertung der Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlern gemeinsamer Ursache
Bei mehrkanaligen Systemen sind Maßnahmen zur Vermeidung des Common-Cause-Effekts notwendig. Die Bewertung der Maßnahmen gemäß IEC 62061 ergibt in diesem Beispiel einen CCF-Faktor (β) von 5 %.

Wert	CCF-Faktor (β)
≤ 35	10 %
36 bis 65	5 %
66 bis 85	2 %
86 bis 100	1 %

6) Bewertung der Prozessmaßnahmen
Ebenso müssen systematische Aspekte zur Fehlervermeidung und -beherrschung berücksichtigt werden. Beispielsweise:
- Organisation und Kompetenz
- Designregeln (z. B. Spezifikationsvorlagen, Codierungsrichtlinien)
- Prüfkonzept und Prüfkriterien
- Dokumentation und Konfigurationsmanagement

✔

Ergebnis
Im letzten Schritt sind die strukturellen Einschränkungen zu berücksichtigen. Aufgrund der vorhandenen Redundanz (Hardwarefehlertoleranz 1) und des SFF > 99 % folgt daraus eine SIL-Anspruchsgrenze (SIL claim limit) SILCL3 für dieses Teilsystem.

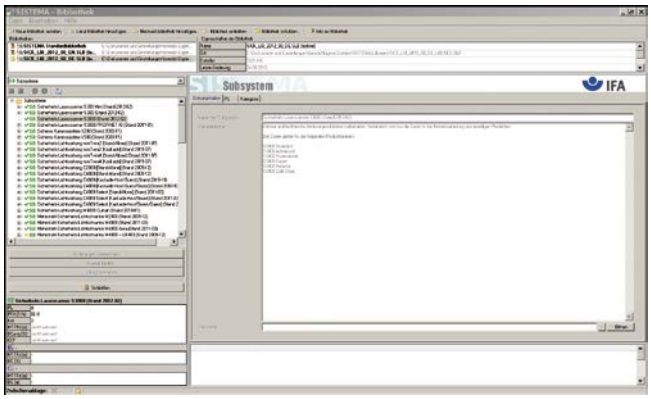
Anteil sicherer Ausfälle (SFF)	Hardwarefehlertoleranz	
	0	1
< 60 %	–	SIL1
60 bis < 90 %	SIL1	SIL2
90 bis < 99 %	SIL2	SIL3
≥ 99 %	SIL3	SIL3

PFHd ≈ 1,9 × 10^{-9}

→ Mit den resultierenden Daten SILCL und dem PFHd-Wert für das Teilsystem kann nun der erreichte SIL für die gesamte Sicherheitsfunktion wie oben beschrieben ermittelt werden (siehe „Sicherheitsintegrität der Hardware“ → 3-95).

Hilfreiche Unterstützung

Die beschriebenen Verifizierungsmethoden erfordern Know-how und Erfahrung im Umgang mit Performance Level (PL) und Sicherheits-Integritätslevel (SIL). SICK bietet entsprechende Dienstleistungen an (➜ „Wie SICK Sie unterstützt“ ➜ i-1).
Ein geeignetes Softwarewerkzeug kann Sie bei einer systematischen Vorgehensweise unterstützen.
Eine effektive Methode zur Berechnung des Performance Levels bietet der Softwareassistent SISTEMA, der von der IFA entwickelt wurde und kostenlos verfügbar ist. SICK bietet hierfür eine Bibliothek zertifizierter Sicherheitskomponenten an. Darüber hinaus bieten Ihnen unsere Seminare praxisgerechtes Know-how für Ihre tägliche Arbeit.



➜ Hinweise zu SISTEMA, der Komponenten-Bibliothek von SICK, und Schulungen finden Sie unter: www.sick-safetyplus.com

3 d

Zusammenfassung: Verifizieren der Sicherheitsfunktion

Grundsätzliches

- Verifizieren Sie, ob die geplanten Sicherheitsfunktionen das benötigte Sicherheitsniveau erfüllen. Verifizieren Sie dazu die mechanische und die funktionale Sicherheit.

Methoden

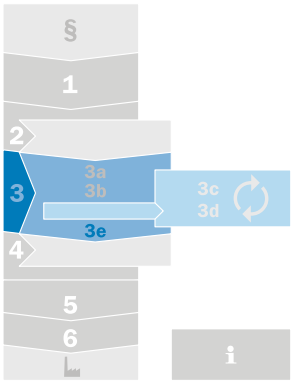
- Bestimmen Sie das resultierende Sicherheitsniveau gemäß ISO 13849-1 (PL). Verfügbare Verfahren:
  - Vereinfachtes Verfahren (anhand der PL)
  - Detailliertes Verfahren (anhand der PFHd-Werte)
- Ist für ein Teilsystem (z. B. für den Aktor) kein PL oder kein PFHd-Wert bekannt, ermitteln Sie das Sicherheitsniveau des Teilsystems aus den Kenngrößen Struktur, Zuverlässigkeit, Diagnose, Resistenz und Prozess.
- Alternativ bestimmen Sie das resultierende Sicherheitsniveau gemäß IEC 62061 (SIL). Auch hier besteht die Möglichkeit, das Sicherheitsniveau eines nicht zertifizierten Teilsystems selbst zu bestimmen.

Hilfen

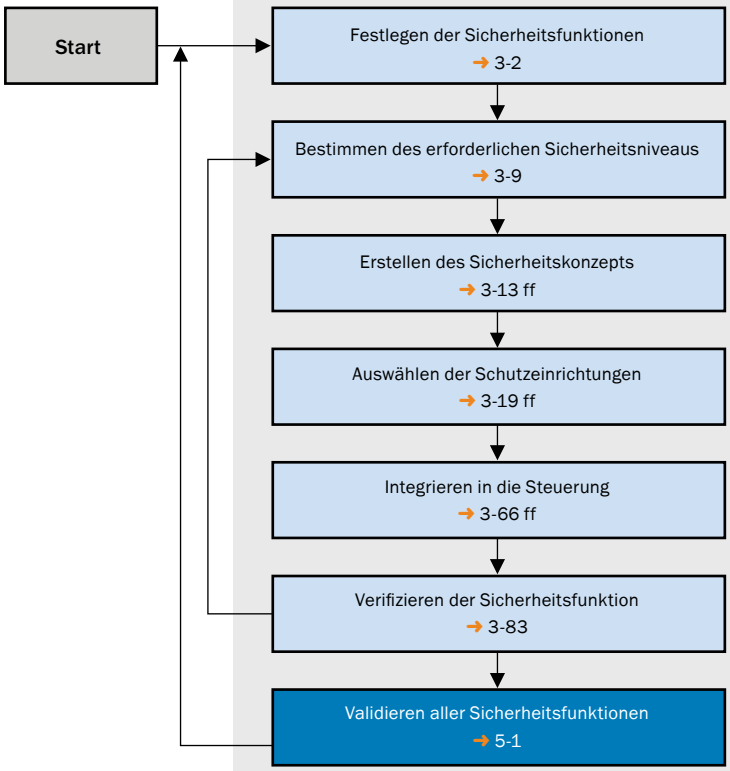
- Nutzen Sie die empfohlenen Tools und lassen Sie sich beraten.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Schritt 3e: Validieren aller Sicherheitsfunktionen



Validierung ist die Prüfung einer These, eines Plans oder Lösungsansatzes in Bezug auf ein zu lösendes Problem. Im Gegensatz zur Verifikation – bei der lediglich die korrekte Umsetzung einer Lösung gemäß der Spezifikation bewertet wird – handelt es sich daher bei der Validierung um die abschließende Bewertung, ob die Lösungen generell für die notwendige Risikominderung geeignet sind.



Der Zweck des Validierungsverfahrens ist es, die Spezifikation und die Konformität der Gestaltung der an der Sicherheitsfunktion beteiligten Komponenten an der Maschine zu überprüfen.
Die Validierung muss aufzeigen, dass sicherheitsbezogene Teile der Steuerungsfunktion die Anforderungen der ISO 13849-2 erfüllen, insbesondere bei den Anforderungen für das festgelegte Sicherheitsniveau.
Die Validierung sollte, soweit sinnvoll, von Personen ausgeführt werden, die an der Gestaltung der sicherheitsbezogenen Teile der Steuerungen nicht beteiligt waren.
Im Validierungsprozess ist es wichtig, Fehler und insbesondere Auslassungen in der formulierten Spezifikation zu überprüfen.
Der kritische Teil der Gestaltung einer sicherheitsgerichteten Steuerungsfunktion ist in der Regel die Spezifikation.
Hierzu ein Beispiel: Der Zugang einer Rohbauzelle soll durch einen Lichtvorhang abgesichert werden. Die Sicherheitsfunktion ist daher folgendermaßen spezifiziert:
„Bei Unterbrechung des Schutzfelds eines Lichtvorhangs müssen alle Gefahr bringenden Bewegungen schnellstmöglich stillgesetzt werden."

Darüber hinaus hätte der Konstrukteur jedoch auch den Wiederanlauf bei frei werdendem, insbesondere bei hintertretbarem Schutzfeld berücksichtigen müssen. Der Validierungsprozess muss solche Aspekte aufdecken.

Im Rahmen eines Validierungprozesses werden i. d. R. mehrere Verfahren angewendet, die sich gegenseitig ergänzen.
Hierzu zählen:

- technische Prüfung der Positionierung und Wirksamkeit der Schutzeinrichtungen
- praktische Überprüfung der Fehlerreaktion hinsichtlich der zu erwartenden Ergebnisse durch Simulationen
- Validierung der Umgebungsanforderungen durch Funktionstests:
  - ausreichender Schutz gegen umweltbedingte Einflüsse wie Temperatur, Feuchtigkeit, Schock, Schwing- und Schockbelastung etc.
  - ausreichende Störfestigkeit gegen elektromagnetische Beeinflussung

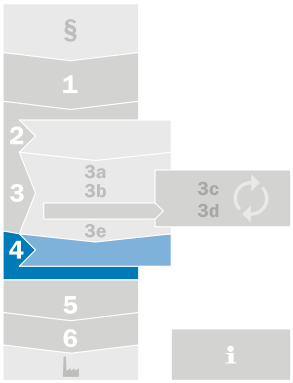
8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Schritt 4: Benutzerinformation über Restrisiken

Wenn die sichere Konstruktion oder die technischen Schutzmaßnahmen nicht vollständig wirken, dann muss der Benutzer zusätzlich vor bestehenden Restrisiken gewarnt und über die Notwendigkeit der Anwendung weiterer Schutzmaßnahmen, insbesondere persönlicher Schutzausrüstung, informiert werden.

Zu den Benutzerinformationen über Restrisiken gehören z. B.:

- akustische und optische Warneinrichtungen
- Informationen und Warnhinweise an der Maschine
- Warnhinweise in der Betriebsanleitung
- Arbeitsanweisungen, Ausbildungsanforderungen oder Einarbeitung von Benutzern
- Hinweise zur Benutzung von persönlicher Schutzausrüstung



Benutzerinformationen dürfen kein Ersatz für andere Maßnahmen sein!

→ Sichere Gestaltung, Risikobeurteilung und Risikominderung
A-Norm: ISO 12100

Akustische und optische Warneinrichtungen
Wenn der Betrieb einer Maschine nicht überwacht wird, muss die Maschine mit Warneinrichtungen versehen sein, die Gefährdungen durch Funktionsstörungen melden. Warneinrichtungen müssen ein-deutig zu verstehen, leicht wahrnehmbar und durch das Bedienpersonal auf ständige Funktionsbereitschaft überprüfbar sein. Bestehen weiterhin Restrisiken, muss der Hersteller darauf hinweisen.

Informationen und Warnhinweise an der Maschine
Informationen und Warnhinweise an Maschinen sollten vorzugsweise Symbole oder Piktogramme sein. Sie müssen in der Amtssprache des Landes, in dem die Maschine in Verkehr gebracht wird, abgefasst sein. Zusätzliche Warnungen in anderen Amtssprachen sind möglich. Sicherheitsrelevante Informationen müssen eindeutig, leicht verständlich, knapp und präzise formuliert sein. Interaktive Kommunikationsmittel müssen leicht verständlich und intuitiv bedienbar sein.

4

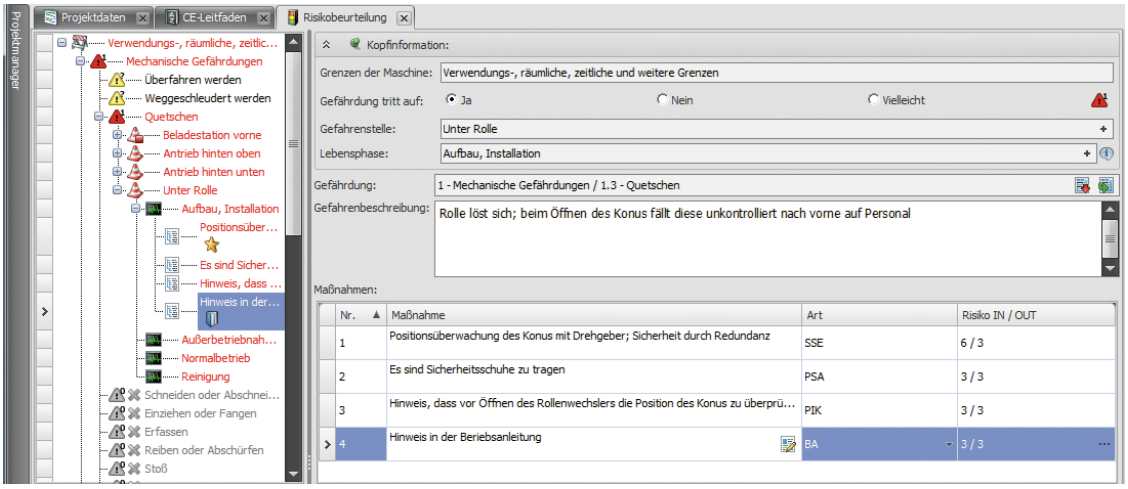
Warn- und Sicherheitshinweise in der Betriebsanleitung
Die Betriebsanleitung muss alle sicherheitsrelevanten Informationen über die Maschine enthalten, insbesondere:

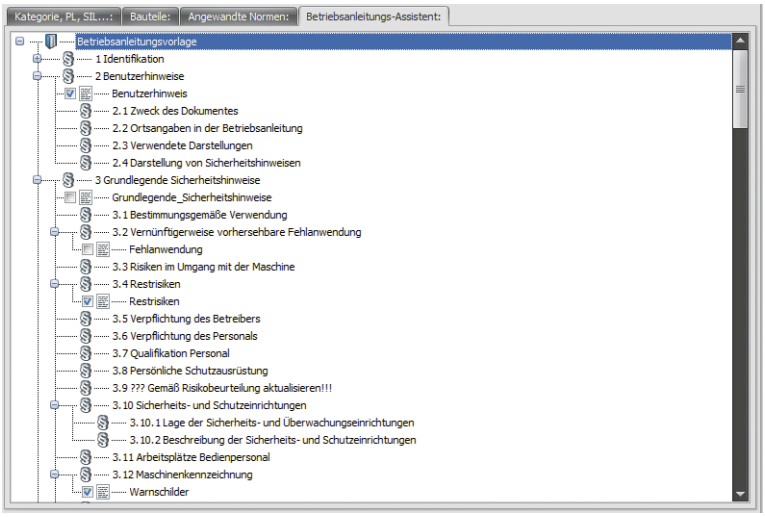
- Warnhinweise in Bezug auf erfahrungsgemäß vorkommende Fehlanwendungen der Maschine
- Hinweise zur Inbetriebnahme, zum Betrieb der Maschine sowie zur erforderlichen Ausbildung bzw. Einarbeitung des Bedienpersonals
- Angaben zu Restrisiken, die trotz der Maßnahmen zur Integration der Sicherheit bei der Konstruktion und Anwendung von Schutzeinrichtungen und ergänzenden Schutzmaßnahmen noch verbleiben
- Anleitung für die vom Benutzer zu treffenden Schutzmaßnahmen und die erforderliche persönliche Schutzausrüstung
- Bedingungen, unter denen die Anforderungen an die Standsicherheit in den verschiedenen Lebensphasen der Maschine erfüllt werden
- Sicherheitshinweise zu Transport, Handhabung und Lagerung
- Anweisungen zum erforderlichen Vorgehen bei Unfällen und zur sicheren Störungsbeseitigung
- Anweisungen zum sicheren Einrichten und Warten und die dafür erforderlichen Schutzmaßnahmen
- Spezifikation der zu verwendenden Ersatzteile, die sich auf Sicherheit und Gesundheit des Bedienpersonals auswirken können

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Dokumentation mit Safexpert®

Mithilfe der Software Safexpert® (➜ Seite 1-5) lassen sich auch die Anforderungen an die technische Dokumentation komfortabel umsetzen. So kann der Anwender zum Beispiel Benutzerhinweise von der Risikobeurteilung direkt in die Betriebsanleitung integrieren.





Safexpert®-Betriebsanleitungsassiste

Zusammenfassung der Schritte 2, 3 und 4: Risikominderung

Grundsätzliches

Zur Risikominderung der analysierten Gefährdung ist nach der 3-Stufen-Methode vorzugehen:

1. Gestalten Sie die Maschine so, dass das Risiko so gut wie möglich beseitigt wird.
2. Definieren, gestalten und überprüfen Sie notwendige Schutzmaßnahmen.
3. Informieren Sie über die verbleibenden Restrisken. Definieren Sie wie verbleibende Restrisken reduziert werden können und stellen Sie diese Information dem Benutzer zur Verfügung.

Technische Schutzmaßnahmen

- Bezüglich der funktionalen Sicherheit helfen Ihnen alternativ zwei Normen: ISO 13849-1 (PL) oder IEC 62061 (SIL).
- Definieren Sie die Sicherheitsfunktionen und bestimmen Sie für jede das erforderliche Sicherheitsniveau.
- Entwerfen Sie das Sicherheitskonzept. Entscheiden Sie über die wirksamsten Schutzeinrichtungen sowie deren Montage und Integration in die Steuerung.
- Stellen Sie sicher, dass die Schutzmaßnahmen wirksam umgesetzt sind und dass das Sicherheitsniveau erreicht wurde.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

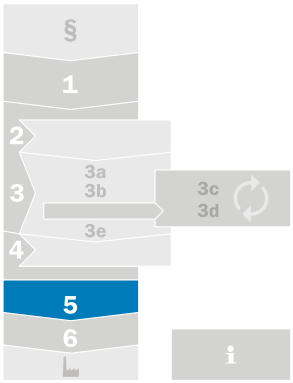
Schritt 5: Gesamtvalidierung

Da die funktionale Sicherheit lediglich einen Teil bei der Risikominderung darstellt, ist es erforderlich, im Rahmen einer Gesamtvalidierung alle Maßnahmen – also konstruktive, technische und organisatorische Maßnahmen – im Zusammenhang zu bewerten.

In der Praxis kann es daher vorkommen, dass mit einer einzelnen technischen Maßnahme die Risikominderung nicht erreicht, jedoch in der Gesamtbetrachtung ein hinreichendes Ergebnis erzielt werden kann. Eine hinreichende Risikominderung kann als erreicht angesehen werden, wenn alle folgenden Fragen positiv beantwortet werden können: Wurden alle Betriebsbedingungen in allen Lebensphasen der Maschine berücksichtigt?

- Wurde die 3-Stufen-Methode angewendet?
- Wurden die Gefährdungen beseitigt oder die Risiken der Gefährdungen so weit vermindert, wie dies praktisch umsetzbar ist?
- Ist sichergestellt, dass die durchgeführten Maßnahmen nicht zu neuen Gefährdungen führen?
- Sind die Benutzer hinsichtlich der Restrisiken ausreichend informiert und gewarnt?
- Ist sichergestellt, dass die Arbeitsbedingungen des Bedienpersonals durch die ergriffenen Schutzmaßnahmen nicht beeinträchtigt werden?
- Sind die durchgeführten Schutzmaßnahmen miteinander vereinbar?
- Wurden die Folgen ausreichend berücksichtigt, die durch den Gebrauch der Maschine im nicht gewerblichen bzw. nicht industriellen Bereich entstehen können?
- Ist sichergestellt, dass die durchgeführten Maßnahmen die bestimmungsgemäße Funktion der Maschine nicht übermäßig beeinträchtigen?
- Wurde das Risiko angemessen reduziert?

Im Rahmen einer sicherheitstechnischen Inspektion durch Sicherheitsspezialisten von SICK wird die gesamte Maschine einer Überprüfung hinsichtlich der wesentlichen Gefährdungen unterzogen.

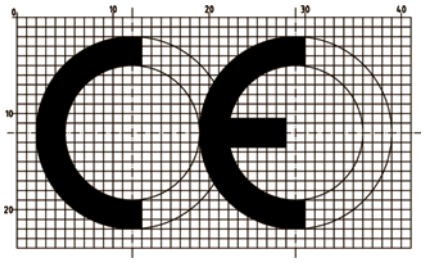


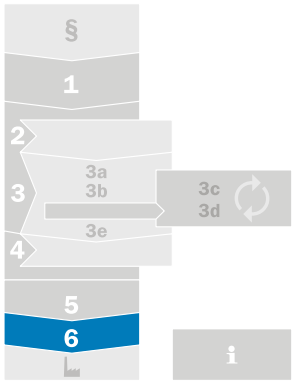
5

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Schritt 6: Inverkehrbringen

Nachdem die Konformität, ggf. unter Einbeziehung einer Prüfstelle, im Rahmen der Gesamtvalidierung festgestellt wurde, kann im Zuge der Fertigstellung der technischen Dokumentation die Konformitätserklärung ausgestellt und das CE-Zeichen an der Maschine angebracht werden. Die Konformitätserklärung muss alle auf die Maschine zutreffenden europäischen Richtlinien berücksichtigen.





Technische Unterlagen

Der Umfang der technischen Unterlagen ist im Anhang VII, Abschnitt A, der Maschinenrichtlinie beschrieben. Für unvollständige Maschinen gelten die besonderen Anforderungen des Anhang VII, Abschnitt B, der Maschinenrichtlinie. Anhand der technischen Unterlagen muss es möglich sein, die Übereinstimmung der Maschine mit den Anforderungen der Maschinenrichtlinie zu beurteilen. Sie müssen sich, soweit es für die Beurteilung erforderlich ist, auf die Konstruktion, den Bau und die Funktionsweise der Maschine erstrecken. Diese Unterlagen müssen in einer oder mehreren Amtssprachen der Europäischen Gemeinschaft abgefasst sein; hiervon ausgenommen ist die Betriebsanleitung der Maschine, für die die besonderen Bestimmungen des Anhangs I, Nummer 1.7.4.1, gelten.

Aufbewahrungsdauer und Fristen

Die technischen Unterlagen sind für die zuständigen Behörden der Mitgliedsstaaten bereitzuhalten:

- Ab dem Tag der Herstellung der Maschine
- Für mindestens 10 Jahre nach der Fertigstellung der letzten Einheit
- Die technischen Unterlagen müssen sich nicht im Gebiet der Europäischen Gemeinschaft befinden und auch nicht ständig körperlich vorhanden sein (z. B. digitale Aufbewahrung). Sie müssen jedoch von der in der EG-Konformitätserklärung benannten Person innerhalb angemessener Frist zur Verfügung gestellt werden können.

Achtung: Werden die technischen Unterlagen den zuständigen einzelstaatlichen Behörden auf begründetes Verlangen nicht vorgelegt, so kann dies ein hinreichender Grund sein, um die Übereinstimmung der betreffenden Maschine mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen anzuzweifeln!

Umfang der technischen Unterlagen

- Allgemeine Beschreibung der Maschine:
  - Übersichtszeichnung der Maschine, Schaltpläne der Steuerkreise sowie Beschreibungen und Erläuterungen, die zum Verständnis der Funktionsweise der Maschine erforderlich sind
  - Vollständige Detailzeichnungen, eventuell mit Berechnungen, Versuchsergebnissen, Bescheinigungen usw., die für die Überprüfung der Übereinstimmung der Maschine mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erforderlich sind
- Liste der angewandten Normen und sonstigen technischen Spezifikationen unter Angabe der von diesen Normen erfassten grundlegenden Sicherheits und Gesundheitsschutzanforderungen
- Unterlagen über die Risikobeurteilung (➜ 1-1), aus denen hervorgeht, welches Verfahren angewandt wurde:
  - Liste der grundlegenden Sicherheitsund Gesundheitsschutzanforderungen, die für die Maschine gelten
  - Beschreibung der zur Abwendung ermittelter Gefährdungen oder zur Risikominderung ergriffenen Schutzmaßnahmen und gegebenenfalls eine Angabe der von der Maschine ausgehenden Restrisiken
- Alle technischen Berichte mit den Ergebnissen der Prüfungen, die vom Hersteller selbst oder von einer Stelle nach Wahl des Herstellers oder seines Bevollmächtigten durchgeführt wurden
- Betriebsanleitung der Maschine
- Kopie der EG-Konformitätserklärung
- Ggf. Kopien der EG-Konformitätserklärungen der in die Maschine eingebauten anderen Maschinen oder Produkte
- Ggf. Einbauerklärung und Montageanleitung für unvollständige Maschinen

Betriebsanleitung

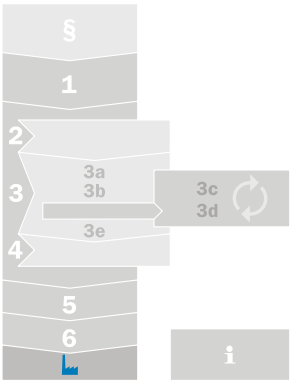
Mit der Maschine muss eine Betriebsanleitung in der Amtssprache des Verwendungslandes mitgeliefert werden. Diese mitgelieferte Betriebsanleitung muss die „Originalbetriebsanleitung“ sein oder eine Übersetzung der „Originalbetriebsanleitung“; im letzteren Fall ist zusätzlich die Originalbetriebsanleitung zu liefern. Weitere Informationen siehe „Schritt 4: Benutzerinformation über Restrisiken“ ➜ 4-1.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Verantwortung des Betreibers

Der Arbeitgeber ist für die Sicherheit seiner Angestellten verantwortlich. Maschinen müssen ergonomisch und der Qualifikation des Bedieners entsprechend betrieben werden können und dabei sicher sein.

Neben sicherheitstechnischen Abnahmen und Inspektionen bei der Lieferung ist die ordentliche Spezifikation der sicherheitstechnischen Anforderungen der Maschine schon beim Einkauf zu berücksichtigen.



Wie sollten Maschinen eingekauft werden?

Ein erfolgreiches Projekt zum Aufbau oder zur Modernisierung einer Produktion beginnt bereits beim Beschaffungsprozess. Hier werden die entscheidenden Weichen gestellt.

- Bestimmen Sie bei komplexen Maschinenanlagen einen „Bauleiter“ gemäß der Maschinenrichtlinie.
- Klären Sie im Vorfeld, wie mit beigestellten (Teil-)Maschinen verfahren wird.
- Legen Sie vertraglich fest, welche zusätzliche Dokumentation zu liefern ist (z. B. Risikobeurteilung ...), damit spätere Änderungen einfacher umgesetzt werden können.
- Legen Sie – soweit sinnvoll – die Verwendung von wichtigen Normen zugrunde (harmonisierte Normen in der EU).
- Vereinbaren Sie die Vorgehensweise bei Abweichungen von harmonisierten Normen.

Sicherheitsinspektionen

Die Erfahrung zeigt, dass in der Praxis die Maschinensicherheit nur bedingt gegeben ist. Oft werden Schutzeinrichtungen manipuliert, um ungehindert arbeiten zu können. Weitere Fehlerquellen sind die falsche Positionierung von Schutzeinrichtungen sowie die fehlerhafte Einbindung in die Steuerung.
Der sicherheitstechnische Zustand der Arbeitsmittel und Anlagen im Betrieb ist nach der EU-Richtlinie 2009/104/EG („Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie“) geregelt und ist nach den jeweils geltenden nationalen Gesetzen zu prüfen. Speziell Artikel 4a der Richtlinie definiert die Prüfung von Arbeitsmitteln. Technische Regeln und Normen oder bestimmte Vorschriften können Basis der Ausführung sein. Die Prüfung und formelle Feststellung der Arbeitssicherheit muss demnach der Betreiber der jeweiligen Anlagen veranlassen.
Er hat dabei darauf zu achten, dass die Prüfung von Arbeitsmitteln gemäß der jeweiligen nationalen Umsetzung zur Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie organisiert wird.

Dabei müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

1. Prüfart
2. Prüfumfang
3. Prüftiefe
4. Prüffristen
5. Befähigungsgrad des Prüfers

Mit einer Sicherheitsinspektion von SICK erhalten Sie einen schnellen Überblick über den Sicherheitsstatus Ihrer Maschinen.
Die SICK-Vertriebszentrale in Düsseldorf sowie die tschechische Tochtergesellschaft von SICK wurden bereits als Inspektionsstelle akkreditiert.
Mit der Akkreditierung wird von unabhängiger Stelle bestätigt, dass SICK in der Lage ist, die im Akkreditierungsumfang festgelegten Tätigkeiten mit hoher Zuverlässigkeit und in der geforderten Qualität auszuführen.
Zusammen mit Ihnen erörtern wir Verbesserungspotenziale und setzen sie in die Praxis um.

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-IS-12060-01-01

I 4051

Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie, Artikel 4a: Überprüfung der Arbeitsmittel

1. Der Arbeitgeber sorgt dafür, dass die Arbeitsmittel, deren Sicherheit von den Montagebedingungen abhängt, durch im Sinne der einzelstaatlichen Rechtsvorschriften und/oder Praktiken hierzu befähigte Personen nach der Montage und vor der ersten Inbetriebnahme einer Erstüberprüfung und nach jeder Montage auf einer neuen Baustelle oder an einem neuen Standort einer Überprüfung unterzogen werden, um sich von der korrekten Montage und vom korrekten Funktionieren dieser Arbeitsmittel zu überzeugen.
2. Der Arbeitgeber sorgt dafür, dass die Arbeitsmittel, die Schäden verursachenden Einflüssen unterliegen, welche zu gefährlichen Situationen führen können,
   - durch im Sinne der einzelstaatlichen Rechtsvorschriften und/oder Praktiken hierzu befähigte Personen regelmäßig überprüft und gegebenenfalls erprobt werden
     und
   - durch im Sinne der einzelstaatlichen Rechtsvorschriften und/oder Praktiken hierzu befähigte Personen jedes Mal einer außerordentlichen Überprüfung unterzogen werden, wenn außergewöhnliche Ereignisse stattgefunden haben, die schädigende Auswirkungen auf die Sicherheit des Arbeitsmittels haben können, beispielsweise Veränderungen, Unfälle, Naturereignisse, längere Zeiträume, in denen das Arbeitsmittel nicht benutzt wurde, damit die Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften eingehalten und diese Schäden rechtzeitig entdeckt und behoben werden können.
3. Die Ergebnisse der Überprüfungen müssen schriftlich festgehalten werden und den zuständigen Behörden zur Verfügung stehen. Sie werden während eines angemessenen Zeitraums aufbewahrt. Werden die betreffenden Arbeitsmittel außerhalb des Unternehmens eingesetzt, ist ihnen ein Nachweis über die Durchführung der letzten Überprüfung beizufügen.
4. Die Mitgliedstaaten legen die Modalitäten dieser Überprüfungen fest.

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Wie SICK Sie unterstützt

Die effiziente Integration der Sicherheitsfunktion in eine Maschine oder in ein Maschinenkonzept erfordert ein hohes Maß an sicherheitstechnischer Kompetenz. Diese Kompetenz erstreckt sich nicht nur auf die Fertigkeiten, die Aktualität und den Umfang des sicherheitstechnischen Wissens, sondern auch auf die Erfahrung in der Anwendung geeigneter Prozesse. Erst alle diese Faktoren zusammen kennzeichnen die sicherheitstechnische Kompetenz eines Safety-Partners.

SICK mit mehr als 60 Jahren Erfahrung in der Maschinensicherheit bietet Ihnen mit seinen maßgeschneiderten Dienstleistungen die Expertise an, die für die richtlinienkonforme Umsetzung Ihrer Maschinensicherheit erforderlich ist. SICK leistet damit einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Sicherheitskultur in Ihrem Unternehmen mit dem Ziel ...

- der Verbesserung der Sicherheit bei bestehenden Maschinen und Anlagen
- der integralen Sicherheit bei der Beschaffung von neuen Maschinen und Anlagen
- der Unterstützung der Konstrukteure bei der Anwendung des CE-Verfahrens und bei der Anwendung konstruktiver Maßnahmen zur Risikominimierung

Sie stellen zu Recht hohe Anforderungen an Ihren Partner. Er muss:

- langjährige Erfahrung haben
- innovative Ideen einbringen
- international aufgestellt sein

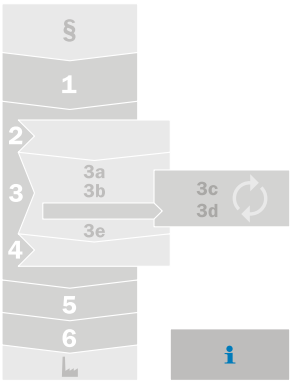
Durch die Einbindung von SICK-Experten in einer frühen Phase ...

- wird Sicherheit als integraler Teil eines Projekts geplant.
- werden potenzielle Schwachpunkte frühzeitig identifiziert.
- wird Überdimensionierung vermieden.
- wird Effektivität und Wettbewerbsfähigkeit sichergestellt.

Dienstleistungen von SICK schaffen höhere Sicherheit und einen wirtschaftlichen Mehrwert.

Der SICK-Prozess zu den Dienstleistungen für Konformität und Konzeption sicherer Maschinen und Anlagen

SICK-Dienstleistungen im Bereich „Beratung und Design für Maschinensicherheit“ werden gemäß dem unten abgebildeten Prozess realisiert. Dabei sind die zu jeder Phase gehörenden Dienstleistungsprodukte von SICK zu erkennen. Diese können Sie einzeln oder als eine umfassende Leistung im Rahmen eines CE-Kennzeichnungsprozesses bestellen.

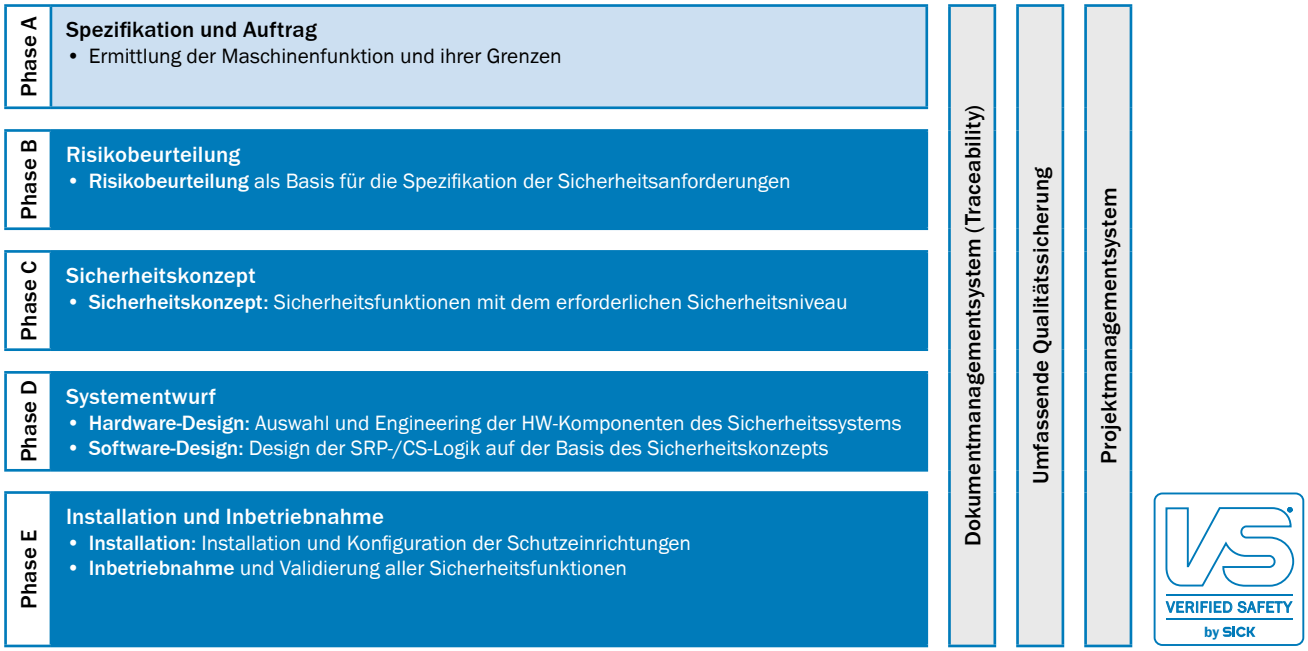


In diesem Kapitel ...

Konformität und Konzeption i-1
Schulungen und Workshops i-3
Begleitung über den Produktlebenszyklus i-4
Übersicht relevanter Normen i-6
Nützliche Links i-8
Glossar/Index i-10
Co-Autoren und Danksagung i-15

Der SICK-Prozess zu den Dienstleistungen für Konformität und Konzeption sicherer Maschinen und Anlagen

SICK-Dienstleistungen im Bereich „Beratung und Design für Maschinensicherheit“ werden gemäß dem unten abgebildeten Prozess realisiert. Dabei sind die zu jeder Phase gehörenden Dienstleistungsprodukte von SICK zu erkennen. Diese können Sie einzeln oder als eine umfassende Leistung im Rahmen eines CE-Kennzeichnungsprozesses bestellen.



Schulungen und Workshops

Praxiswissen für Anwender
Je mehr Erfahrung Sie haben, umso sicherer können Sie in der Regel mit Applikationen umgehen. Erfahrung zu vermitteln und dadurch Applikationen zu optimieren, ist ein wichtiger Bestandteil der Schulungen und Workshops von SICK. Diese sind daher besonders praxisorientiert

Maßgeschneiderte Schulungen
Je nach Bedarf unserer Teilnehmer und den zu vermittelnden Inhalten wählen wir die passenden Maßnahmen zur Wissensvermittlung und Transfersicherung:

- Schulungen
- Workshops
- E-Learning
- modulare Schulungskonzepte
- Updateschulungen

Wissensvorsprung sichern
Im Laufe der Zeit ändern sich gesetzliche Sachverhalte und Normen. Der Technologiewandel erfordert, sich auf Neuerungen einzustellen. In unseren modularen Schulungen zu sicherheitstechnischen Grundlagen vermitteln wir aktuelles Know-how zu folgenden Schwerpunktthemen:

- normengerechte Auswahl der passenden Schutzeinrichtung
- Integration der Schutzeinrichtung in die Gesamtsteuerung
- richtige Beurteilung von Schutzmaßnahmen basierend auf den gültigen Richtlinien, Normen und Verordnungen

Anwendungssicherheit stärken
Unsere Schulungen sind ausgerichtet an den Produkten, um diese effizient und dauerhaft sicher in die geplante Applikation zu integrieren. Sie erhalten dabei alle nötigen Grundlagen, um sicher und effektiv mit dem Gerät zu arbeiten – auch hinsichtlich Analyse- und Diagnosemöglichkeiten.
Der generelle Aufbau unserer Schulungen umfasst die unterschiedlichen Phasen, die während der Auswahl und Integration eines Produkts entstehen:

- Auswahl
  - Sicherheitsaspekte
  - Produkteigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten
- Integration
  - Anbau an die Anwendung (Montage) und Verdrahtung
  - Programmierung
  - Inbetriebnahme
- Sicherer Betrieb
  - Fehlerdiagnose und -behebung

Auf Wunsch erarbeitet SICK ein auf Ihre Anwendung zugeschnittenes Qualifizierungskonzept. Ein Angebot, das dazu beiträgt, die Arbeitsqualität zu optimieren und den sicherheitstechnischen Wissenstransfer zu beschleunigen.

Up to date bleiben
Damit Sie auf dem Laufenden und mit Ihrem Wissen am Puls der Zeit bleiben, bieten wir Ihnen spezielle Weiterbildungsmaßnahmen – abgestimmt auf Ihren Wissensstand.

➜ Aktuelle Detailinformationen erhalten Sie im Internet unter www.sick.com/training oder in unserem Seminarprogramm.
➜ Für Seminare im Ausland wenden Sie sich bitte an Ihre SICK-Vertretung oder besuchen Sie uns unter www.sick.com

Auf Wunsch führen wir unsere Seminare und Anwenderschulungen auch bei Ihnen vor Ort durch. Sprechen Sie uns einfach an!

SICK – wir begleiten Ihre Anlage über den gesamten Produktlebenszyklus

Mit zertifizierten sicherheitstechnischen Produkten und individuell auf Ihre Aufgaben zugeschnittenen Leistungen bietet Ihnen SICK Unterstützung über den gesamten Lebenszyklus Ihrer Maschine. Von der Planung über die Inbetriebnahme bis zur Instandhaltung und Modernisierung.

Dienstleistungen von SICK	In sechs Schritten zur sicheren Maschine				
	§ Gesetze, Richtlinien, Normen	Schritt 1 Risikobeurteilung	Schritt 2 bis 4 Risikominderung: Die 3-Stufen-Methode	Schritt 5 bis 6 Gesamtvalidierung und Inverkehrbringen	Verantwortung des Betreibers
Beratung und Design					
• Risikobeurteilung		✔			
• Sicherheitskonzept			✔		
• Hardware-Design			✔		
• Software-Design			✔		
• Installation			✔		
• Inbetriebnahme			✔		
• CE-Konformitätsbewertung				✔	
• Anlagenbegehung					✔
Verifikation und Optimierung					
• Inspektion vor erstmaliger Inbetriebnahme				✔	✔
• Regelmäßige Inspektion					✔
• Maschinensicherheitsinspektion				✔	✔
• Überprüfung der elektrischen Ausrüstung				✔	✔
• Unfalluntersuchung					✔
• Nachlaufmessung				✔	✔
Training und Weiterbildung					
• Seminare	✔	✔	✔	✔	✔
• Anwenderschulungen					✔
• WebTraining	✔	✔	✔	✔	✔
Modernisierung und Nachrüstung					
• Ablösekits					✔
Produkt- und System-Support					
• Inbetriebnahme-Check					✔
• Helpline-Support					✔
• Vor-Ort-Troubleshooting					✔
• Tauschgeräte					✔
• Ersatzteile					✔
• Werkstattreparaturen					✔

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Komponenten (Produkte)
Die Anwendung von zertifizierten Produkten erleichtert dem Maschinenhersteller den Nachweis der Konformität mit den Anforderungen der Maschinenrichtlinie und der verschiedenen Normen. Als Lösungsanbieter bietet SICK den Maschinenherstellern eine breite Palette von Produkten, von der einfachen einstrahligen Sicherheits-Lichtschranke über Sicherheits-Lichtvorhänge, Sicherheits-Laserscanner, sichere Kamerasysteme und Sicherheitsschalter bis hin zu modularen und netzwerkfähigen Sicherheits-Steuerungen und Softwarelösungen für die Konformität von Maschinen.

Beratung: Unser Wissen – Ihr Anwendervorteil
SICK hat in 87 Industrieländern weltweit Tochtergesellschaften oder Vertretungen. Dort bekommen Sie die benötigte fachliche Beratung durch unsere technisch kompetenten Mitarbeiter. Diese unterstützen Sie nicht nur mit produkttechnischem Fachwissen, sondern auch durch ihre Kenntnis des Marktes und der nationalen Gesetzgebung und Normung.

→ Produktübersicht Sicherheitstechnik → 3-81
→ Alle Produkte finden Sie online im Produktfinder unter www.sick.com
→ Um mehr über das Dienstleistungsangebot in Ihrem Land zu erfahren, wenden Sie sich bitte an die SICK-Vertretung in Ihrem Land oder besuchen Sie uns unter www.sick-safetyplus.com

Eine Übersicht relevanter Normen

Typ	Europäische Norm EN	Harmonisiert	Internationale Norm ISO/IEC	Titel bzw. Hinweis
A	EN ISO 12100 ersetzt folgende Normen	✔	ISO 12100	Sicherheit von Maschinen – allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
	EN ISO 12100-1		ISO 12100-1	Sicherheit von Maschinen – Grundbegriffe und allgemeine Gestaltungsgrundsätze • Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie
	EN ISO 12100-2		ISO 12100-2	Sicherheit von Maschinen – Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze • Teil 2: Technische Leitsätze
	EN ISO 14121-1		ISO 14121-1	Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung • Teil 1: Leitsätze
B	EN 349	✔	ISO 13854	Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen
	EN 574	✔	ISO 13851	Zweihandschaltungen – funktionelle Aspekte – Gestaltungsleitsätze
	EN 953	✔	ISO 14120	Trennende Schutzeinrichtungen – allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau (*wird zurzeit überarbeitet und zukünftig als EN ISO 14120 herausgegeben)*
	EN 1037	✔	ISO 14118	Vermeidung von unerwartetem Anlauf
	EN 1088	✔		Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen – Leitsätze für Gestaltung und Auswahl *(wurde überarbeitet und wird als EN ISO 14119 in Kürze herausgegeben)*
	EN ISO 13849-1	✔	ISO 13849-1	Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen • Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze
	EN ISO 13849-2	✔	ISO 13849-2	• Teil 2: Validierung
	EN ISO 13850 (ersetzt EN 418)	✔	ISO 13850	Not-Halt – Gestaltungsleitsätze
	EN ISO 13855 (ersetzt EN 999)	✔	ISO 13855	Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen
	EN ISO 13857 (ersetzt EN 294 und EN 811)	✔	ISO 13857	Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen
	EN 60204-1	✔	IEC 60204	Elektrische Ausrüstung von Maschinen • Teil 1: Allgemeine Anforderungen
	EN 61496-1	✔	IEC 61496-1	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen • Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen
	CLC/TS 61496-2	–	IEC 61496-2	• Teil 2: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, die nach dem aktiven optoelektronischen Prinzip arbeiten
	CLC/TS 61496-3	–	IEC 61496-3	• Teil 3: Besondere Anforderungen an diffuse Reflexion nutzende, aktive optoelektronische Schutzeinrichtungen (AOPDDR)
	CLC/TS 62046	–	IEC/TS 62046	Anwendung von Schutzausrüstungen zur Anwesenheitserkennung von Personen
	EN 62061	✔	IEC 62061	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Typ	Europäische Norm EN	Harmonisiert	Internationale Norm ISO/IEC	Titel bzw. Hinweis
C	EN 1114-1	✔	–	Gummi- und Kunststoffmaschinen – Extruder und Extrusionsanlagen • Teil 1: Sicherheitsanforderungen für Extruder
	EN 12622	✔	–	Hydraulische Gesenkbiegepressen
	EN 13736	✔	–	Pneumatische Pressen
	EN 1459	✔	–	Sicherheit von Maschinen – Stapler mit veränderlicher Reichweite
	EN 1525	–	–	Sicherheit von Flurförderzeugen – fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme
	EN 1526	✔	–	Sicherheit von Flurförderzeugen – zusätzliche Anforderungen für automatische Funktionen von Flurförderzeugen
	EN 1612-1	✔	–	Gummi- und Kunststoffmaschinen – Reaktionsgießmaschinen • Teil 1: Sicherheitsanforderungen an Misch- und Dosiereinheiten
	EN 1672-1	–	–	Nahrungsmittelmaschinen – Sicherheits- und Hygieneanforderungen – allgemeine Gestaltungsleitsätze
	EN 201	✔	–	Gummi- und Kunststoffmaschinen; Spritzgießmaschinen – Sicherheitsanforderungen
	EN 289	✔	–	Gummi- und Kunststoffmaschinen; Formpressen und Spritzpressen; sicherheitstechnische Anforderungen für die Gestaltung
	EN 415-X	✔*	–	Verpackungsmaschinen (*: Nur die Teile -1, -3 und -5 bis -9 dieser Norm sind harmonisiert)
	EN 422	✔	–	Gummi- und Kunststoffmaschinen; Sicherheit – Blasformmaschinen zur Herstellung von Hohlkörpern – Anforderungen für Konzipierung und Bau
	EN 528	✔	–	Regalbediengeräte – Sicherheit
	EN 692	✔	–	Mechanische Pressen
	EN 693	✔	–	Hydraulische Pressen
	EN 710	✔	–	Sicherheitsanforderungen an Gießereimaschinen und -anlagen der Form- und Kernherstellung und dazugehörige Einrichtungen
	EN 869	✔	–	Sicherheitsanforderungen für Metallruckgießanlagen
	EN ISO 1010-X	✔*	ISO 1010-X	Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen (*: Teile -1 bis -4 dieser Norm sind harmonisert)
	EN ISO 10218-1 (ersetzt EN 775)	✔	ISO 10218-1	Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen • Teil 1: Roboter
	EN ISO 10218-2	✔	ISO 10218-2	• Teil 2: Industrierobotersystem und Integration
	EN ISO 11111-X	✔*	ISO 11111-X	Textilmaschinen (*: Teile -1 bis -7 dieser Norm sind harmonisert)

Nützliche Links

Wo finde ich ...?	
Richtlinientexte (EU)	Den vollständigen Text der Richtlinien finden Sie im Internet, unter anderem im Portal zum Recht der Europäischen Union: ➜ eur-lex.europa.eu
Normenlisten	EU-Amtsblatt Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): ➜ www.baua.de Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA): ➜ www.vdma.org Europäische Kommission ➜ www.ec.europa.eu/growth/index_en.htm Beuth Verlag GmbH: ➜ www.beuth.de
Normenherausgeber, international	CEN: ➜ www.cen.eu/cenorm/homepage.htm CENELEC: ➜ www.cenelec.eu ISO: ➜ www.iso.org/iso/home.htm IEC: ➜ www.iec.ch
Normenherausgeber, deutschsprachig	Deutschland (DIN): ➜ www.din.de Österreich (ON): ➜ www.as-institute.at Schweiz (SVN): ➜ www.snv.ch
Normenherausgeber, europäisch	Belgien (NBN): ➜ www.nbn.be Bulgarien (BDS): ➜ www.bds-bg.org Dänemark (DS): ➜ www.ds.dk Estland (EVS): ➜ www.evs.ee Finnland (SFS): ➜ www.sfs.fi Frankreich (AFNOR): ➜ www.afnor.org Griechenland (ELOT): ➜ www.elot.gr Großbritannien (BSI): ➜ www.bsigroup.com Irland (NSAI): ➜ www.nsai.ie Island (IST): ➜ www.stadlar.is Italien (UNI): ➜ www.uni.com/it Lettland (LVS): ➜ www.lvs.lv Litauen (LST): ➜ www.lsd.lt Luxemburg (SEE): ➜ www.see.lu Malta (MSA): ➜ www.msa.org.mt Niederlande (NEN): ➜ www2.nen.nl Norwegen (SN): ➜ www.standard.no Polen (PKN): ➜ www.pkn.pl Portugal (IPQ): ➜ www.ipq.pt Rumänien (ASRO): ➜ www.asro.ro Schweden (SIS): ➜ www.sis.se Slovenien (SIST): ➜ www.sist.si Slowakien (SUTN): ➜ www.sutn.sk Spanien (AENOR): ➜ www.aenor.es Tschechien (CNI): ➜ www.unmz.cz/urad/unmz Ungarn (MSZT): ➜ www.mszt.hu Zypern (CYS): ➜ www.cys.org.cy
Informationen zu notifizierten deutschen Stellen, anderer EU-Mitgliedstaaten bzw. EFTA-Staaten und anderer Staaten, mit denen die EU ein Drittstaatenabkommen geschlossen hat, können tagesaktuell über das NANDO Information System der EU abgefragt werden.	Als Angebot der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin finden Sie eine Zusammenstellung der bisher von den EG-Mitgliedsstaaten notifizierten Zertifizierungsstellen: ➜ ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando

8008007/2015-07-07
Irrtümer und Änderungen vorbehalten

Wo finde ich ...?	
Deutsche Landesorgane für Arbeitsschutz (unterschiedliche Struktur je nach Bundesland)	Baden-Württemberg: ➜ www.gewerbeaufsicht.baden-wuerttemberg.de Bayern: ➜ www.lgl.bayern.de/arbeitsschutz/index.htm Berlin: ➜ www.berlin.de/lagetsi Brandenburg: ➜ www.arbeitsschutzverwaltung.brandenburg.de Bremen: ➜ www.gewerbeaufsicht.bremen.de Hamburg: ➜ www.hamburg.de/arbeitsschutz Hessen: ➜ www.sozialnetz.de/ca/b/b Mecklenburg-Vorpommern: ➜ www.lagus.mv-regierung.de Niedersachsen: ➜ www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de Nordrhein-Westfalen: ➜ www.arbeitsschutz.nrw.de/bp/index.html Rheinland-Pfalz: ➜ www.masgff.rlp.de/arbeit/arbeitsschutz Saarland: ➜ www.lua.saarland.de Sachsen: ➜ www.arbeitsschutz.sachsen.de Sachsen-Anhalt: ➜ www.verbraucherschutz.sachsen-anhalt.de/arbeitsschutz Schleswig-Holstein: ➜ www.schleswig-holstein.de/DE/Themen/A/arbeitsschutz Thüringen: ➜ www.thueringen.de/th7/tlv/arbeitsschutz
Österreich	Arbeitsschutzinspektion Österreich: ➜ www.arbeitsinspektion.gv.at CD-ROM “ArbeitnehmerInnenschutz expert” ➜ www.a-expert.at
Schweiz	Arbeitsschutzinspektion Schweiz: ➜ www.seco.admin.ch
Liste der berufsgenossenschaftlichen Fachausschüsse (Deutschland)	Neuordnung der Fachausschüsse und Fachgruppen in der DGUV. Mit dem DGUV-Grundsatz 401, „Fachbereiche und Sachgebiete der DGUV“, wurde die Grundlage für ein den Herausforderungen der Zukunft gewachsenes ganzheitliches Kompetenznetzwerk für Sicherheit und Gesundheit geschaffen. Die bisherigen Fachausschüsse werden durch die Fachbereiche abgelöst. ➜ www.dguv.de/de/Pr%c3%a4vention/Fachbereiche-der-DGUV/index.jsp
Anschriften der Berufsgenossenschaften (Deutschland)	➜ www.dguv.de/de/Berufsgenossenschaften-Unfallkassen-Landesverbände
Unfallversicherungsträger	Deutschland: Deutsche gesetzliche Unfallversicherung: ➜ www.dguv.de Österreich: Allgemeine Unfallversicherung: ➜ www.auva.at Schweiz: Schweizerische Unfallverhütungsanstalt: ➜ www.suva.ch

Glossar/Index

Abkürzung/Begriff		Erklärung	Index
1-Takt- und 2-Takt-Betrieb		Diese Betriebsart ist vorteilhaft, wenn Teile zyklisch von Hand eingelegt bzw. entnommen werden. In diesem Modus wird der Maschinenzyklus jeweils mit Freiwerden des Schutzfeldes nach einmaligem bzw. zweimaligem Unterbrechen automatisch wieder eingeleitet. Unter folgenden Bedingungen ist das Resetgerät zu betätigen: • Beim Maschinenstart • Beim Wiederanlauf, wenn die → AOPD innerhalb einer Gefahr bringenden • Bewegung unterbrochen wird • Um einen Wiederanlauf nach einer Dauer von mehr als 30 s (vgl. IEC 61496-1/EN 61496-1) zu veranlassen → Weiterführende Informationen: EN 692 Dennoch ist es nötig, zu überprüfen, dass während des Arbeitsprozesses keine Gefährdung für den Bediener entstehen kann. Dies begrenzt die Verwendung auf kleine Maschinen, bei denen der Gefahrbereich nicht begehbar und Hintertretschutz vorhanden ist. Alle anderen Seiten der Maschine müssen ebenfalls durch geeignete Maßnahmen abgesichert werden. Wenn diese Betriebsart gefahren wird, muss die Auflösung der AOPD kleiner oder gleich 30 mm sein (vgl. ISO 13855, auch EN 692, EN 693). Allgemein müssen bei der Montage von Schutzeinrichtungen folgende Fehler ausgeschlossen werden: Übergreifen, Untergreifen, Umgreifen, Hintertreten.	→ 3-41

λ	**Failure rate per hour**	λ: Ausfallrate pro Stunde, Summe von λ_S und λ_D
		• λ_S: Rate sicherer Ausfälle
		• λ_D: Rate Gefahr bringender Ausfälle, kann differenziert werden in:
		  • λ_{DD}: Rate Gefahr bringender Ausfälle, die durch die Diagnosefunktionen erkannt werden
		  • λ_{DU}: Rate nicht entdeckter Gefahr bringender Ausfälle
			→ 3-96
			→ 3-98

β-Faktor		Anfälligkeit gegenüber Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursache (IEC 62061) → CCF	→ 3-97 → 3-98
A			
Ansprechverzögerungszeit		Zeit, durch die ein verzögertes Ansprechen der Kontakte bewirkt wird. Bei Schaltgeräten mit Ansprechverzögerung sind die Zeiten variabel einstellbar.	
Ansprechzeit		Die maximale Zeit zwischen dem Auftreten des Ereignisses, das zum Ansprechen des Sensorteils führt, und dem Erreichen des Aus-Zustands der Ausgangsschaltelemente (OSSD)	→ 3-47
AOPD	**Active opto-electronic protective device**	Gerät, dessen Sensorfunktion durch optoelektronische Sende- und Empfangselemente erzeugt wird, die die Unterbrechung von im Gerät erzeugten optischen Strahlungen durch ein im festgelegten Schutzfeld (oder für eine Lichtschranke: auf der Achse des Lichtstrahls) befindliches undurchsichtiges Objekt detektieren (CLC/TS 61496-2) In der DIN EN 692 „Mechanische Pressen“, EN 693 „Hydraulische Pressen“ und EN 12622 „Hydraulische Abkantpressen“ wird die Abkürzung **AOS** als Synonym für **AOPD** verwendet.	→ 3-30
AOPDDR	**Active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection**	Gerät, dessen Sensorfunktion durch optoelektronische Sende- und Empfangselemente erzeugt wird, die die diffuse Reflexion von im Gerät erzeugter optischer Strahlung durch ein in einem durch zwei Dimensionen festgelegten Schutzfeld befindlichen Objekt detektiert. (IEC/TS 61496-3, CLC/TS 61496-3)	→ 3-31
Auflösung/Sensordetektionsvermögen		Die Grenze des Sensorparameters, die ein Ansprechen der berührungslos wirkenden Schutzeinrichtung (BWS) verursacht. Sie wird durch den Hersteller festgelegt.	→ 3-31
B			
B_{10d}		Anzahl von Zyklen, nach der es bei 10 % der Komponenten zu einem Gefahr bringenden Ausfall gekommen ist (beispielsweise für pneumatische und elektromechanische Komponenten)	→ 3-17 → 3-93
BGIA		→ IFA	
BWS	**Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung**	Anordnung von Geräten und/oder Komponenten, die zusammenarbeiten, um für einen Zugangsschutz oder eine Anwesenheitserkennung zu sorgen, und die mindestens Folgendes beinhaltet (IEC 61496-1/EN 61496-1): • Sensorelement • Steuerungs- bzw. Überwachungselemente • Ausgangsschaltelemente (OSSD) Sie dient dem Schutz von Personen an Maschinen und Anlagen, die ein Risiko der Körperverletzung in sich bergen. Sie veranlasst die Maschine oder Anlage einen sicheren Zustand einzunehmen, bevor eine Person in eine Gefahr bringende Situation geraten kann.	→ 3-29 f

Abkürzung/Begriff		Erklärung	Index
C			
CCF	**Common cause failure**	Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache: Ausfälle verschiedener Einheiten aufgrund eines einzelnen Ereignisses, wobei diese Ausfälle nicht auf gegenseitiger Ursache beruhen	→ 3-16 → 3-95 → 3-97 → 3-98
CENELEC	**Comité Européen de Normalisation Electrotechnique**	Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung. Zuständig für die Harmonisierung der elektrotechnischen Normen im Rahmen der Europäischen Union und des gesamten europäischen Wirtschaftsraums. → www.cenelec.eu	→ §-7
CLC		Präfix für Normen, die vom CENELEC angenommen wurden	→ §-7
D			
DC	**Diagnostic coverage**	Diagnosedeckungsgrad: Maß für die Wirksamkeit der Diagnose, die bestimmt werden kann als Verhältnis der Ausfallrate der bemerkten gefährlichen Ausfälle zur Ausfallrate der gesamten gefährlichen Ausfälle	→ 3-95 → 3-96 → 3-98
d_{op}		Mittlere Betriebszeit in Tagen pro Jahr	→ 3-93
E			
E/E/PES	**Electrical, electronic and programmable electronic safety-related systems**	Elektrische, elektronische und programmierbare sicherheitsgerichtete Systeme (IEC 62061/EN 62061)	
EDM	**External device monitoring**	Schützkontrolle: Mittel, mit dem die berührungslos wirkende Schutzeinrichtung (BWS) den Status von Steuerungselementen überwacht, die außerhalb der BWS angeordnet sind (IEC 61496-1/EN 61496-1). EDM ist nicht auf die Anwendung mit BWS beschränkt.	→ 3-73 → 3-93 → 3-98
EFTA	**European free trade association**	Europäische Freihandelsassoziation, eine von europäischen Staaten gegründete internationale Organisation	→ §-7
Elementsicherheitsfunktionen		Der Teil einer Sicherheitsfunktion, die von einem sicherheitsbezogenen Element (z. B. Aktor) zur Risikominderung ausgeführt wird	→ 3-76
EMC	**Electromagnetic compatibility**	→ EMV	
EMV	**Elektromagnetische Verträglichkeit**	Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren und dabei diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, nicht unzulässig zu beeinflussen	→ 2-9 → 3-95 → 3-97
ESPE	**Electro-sensitive protective equipment**	→ BWS	→ 3-29 f
F			
FIT	**Failure in time**	Ausfallrate in 10^{-9} Stunden → $\lambda = 1 \times 10^{-9}$ 1/h	→ 3-16
FMEA	**Failure mode effects analysis**	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. Verfahren zur Analyse der Fehlerauswirkungen (IEC 812/EN 60812).	→ 3-17
Funktionale Sicherheit		Teil der Gesamtsicherheit, bezogen auf die Maschine und das Maschinensteuerungssystem, die von der korrekten Funktion des → SRECS, von den sicherheitsbezogenen Systemen anderer Technologien und von externen Einrichtungen zur Risikominderung abhängt	→ 3-1 → 3-85
H			
HFT[n]	**Hardware fault tolerance**	Fähigkeit, eine geforderte Funktion beim Vorhandensein von Fehlern oder Ausfällen weiter auszuführen (IEC 62061/EN 62061)	→ 3-96
Hintertretschutz		Sekundäre Schutzeinrichtung für Maschinen bzw. Anlagen, die vom Boden aus zugänglich sind und bei denen verhindert werden muss, dass die Anlage anläuft, während sich ein Bediener im Innenraum befindet (Sicherheitsfunktion: Start verhindern)	→ 3-50 ff
h_{op}	**Operating hours**	Mittlere Betriebszeit in Stunden je Tag	→ 3-93

Abkürzung/Begriff		Erklärung	Index
I			
IFA	**Institut für Arbeitsschutz**	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Bis 2009: BGIA.	→ §-12
Inverkehrbringen		nach Produktsicherheitsgesetz: Erstes Bereitstellen auf dem Markt	→ 6-1
K			
Kategorie		Einstufung der sicherheitsbezogenen Teile einer Steuerung bezüglich ihres Widerstands gegen Fehler und ihres nachfolgenden Verhaltens bei einem Fehler	→ 3-18 → 3-89
L			
Lambda λ		→ λ	→ 3-96 → 3-98
Lichtvorhang		Eine AOPD mit einer Auflösung ≤ 116 mm	→ 3-29 f → 3-47
M			
Mindestabstand		Berechneter Abstand zwischen der Schutzeinrichtung und dem Gefahrbereich, um zu verhindern, dass Personen oder Teile von Personen in den Gefahrbereich vor Beendigung der Gefahr bringenden Maschinenfunktion hineinreichen	→ 3-47 ff
MTTFd	**Mean time to failure**	Erwartungswert der mittleren Zeit bis zum Gefahr bringenden Ausfall (ISO 13849-1/EN ISO 13849-1)	→ 3-90
Muting		Überbrückungsfunktion. Vorübergehende automatische Überbrückung einer Sicherheitsfunktion bzw. von Sicherheitsfunktionen durch sicherheitsbezogene Teile des Steuerungssystems (IEC 61496-1/EN 61496-1)	→ 3-38
N			
N/C	**Normally Closed**	Öffner	→ 3-21 → 3-45 → 3-73
N/O	**Normally Open**	Schließer	
n_{op}	**Numbers of operation per year**	Text aus EN ISO 13849-1: Mittlere Anzahl jährlicher Betätigungen (ISO 13849-1/EN ISO 13849-1) $n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600 \frac{s}{h}}{t_{cycle}}$ d_{op} ist die mittlere Betriebszeit in Tagen je Jahr h_{op} ist die mittlere Betriebszeit in Stunden je Tag t_{cycle} ist die mittlere Zeit zwischen dem Beginn zweier aufeinanderfolgender Zyklen des Bauteils in Sekunden je Zyklus	→ 3-93
O			
OSSD	**Output signal switching device**	Der Teil der berührungslos wirkenden Schutzeinrichtung (BWS), der mit der Maschinensteuerung verbunden ist und der in den Aus-Zustand übergeht, wenn der Sensorteil während des bestimmungsgemäßen Betriebs anspricht	→ 3-18 → 3-66 f
P			
PDF	**Proximity device with defined behaviour under fault conditions**	Näherungsschalter mit definiertem Verhalten unter Fehlerbedingungen	
PFHd	**Probability of dangerous failure per hour**	Mittlere Wahrscheinlichkeit eines Gefahr bringenden Ausfalls pro Stunde (1/h)	→ 3-85 → 3-94 → 3-95
PL	**Performance Level**	Diskreter Level, der die Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen einer Steuerung spezifiziert, eine Sicherheitsfunktion unter vorhersehbaren Bedingungen auszuführen (ISO 13849-1/EN ISO 13849-1)	→ 3-86
Prüfstab		Undurchsichtiges, zylinderförmiges Element, das zur Überprüfung des Detektionsvermögens der AOPD verwendet wird (IEC/TS 61496-2, CLC/TS 61496-2)	

Abkürzung/Begriff		Erklärung	Index
R			
Rücksetzen		Rücksetzen der Schutzeinrichtung in den überwachenden Zustand. • Manuelles Rücksetzen erfolgt durch ein separates, manuell zu bedienendes Gerät, z. B. durch eine Rücksetztaste. • Automatisches Rücksetzen durch die Schutzeinrichtung ist nur im Sonderfall gestattet: Es darf nicht möglich sein, dass sich Personen im Gefahrbereich aufhalten, ohne die Schutzeinrichtung auszulösen, oder es muss sichergestellt sein, dass sich keine Personen beim und nach dem Rücksetzen im Gefahrbereich aufhalten.	→ i-16 → 3-65
S			
Schutzfeld		Der Bereich, in dem der vom Hersteller definierte Prüfkörper durch die berührungslos wirkende Schutzeinrichtung (BWS) erkannt wird. • Sicherheits-Lichtvorhang: Das Schutzfeld liegt zwischen Sende- und Empfangseinheit. Es wird durch die Schutzfeldhöhe und die Schutzfeldbreite definiert. • Sicherheits-Laserscanner: Das Schutzfeld sichert den Gefahrbereich einer Maschine oder eines Fahrzeugs ab. Es wird festgelegt durch Reichweite, Scan-Winkel, Ansprechzeit und Auflösung des eingesetzten Geräts (siehe technische Daten).	→ 3-47
Sensordetektionsvermögen/Auflösung		Die Grenze des Sensorparameters, die ein Ansprechen der berührungslos wirkenden Schutzeinrichtung (→ BWS) verursacht. Sie wird durch den Hersteller festgelegt.	→ 3-32
SFF	**Safe failure fraction**	Anteil sicherer Ausfälle an der Gesamtausfallrate eines Teilsystems, der nicht zu einem Gefahr bringenden Ausfall führt (IEC 62 061/EN 62 061)	→ 3-96
Sicherheitsfunktion		Funktion einer Maschine, wobei ein Ausfall dieser Funktion zur unmittelbaren Erhöhung des Risikos (der Risiken) führen kann (ISO 12100). Eine Sicherheitsfunktion wird durch sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen ausgeführt (SRP/CS).	→ 3-2
SIL	**Safety Integrity Level**	Sicherheits-Integritätslevel: diskrete Stufe (eine von drei möglichen) zur Spezifizierung der Sicherheitsintegrität der Sicherheitsfunktionen, die dem sicherheitsbezogenen System zugeordnet werden, wobei der Sicherheits-Integritätslevel 3 die höchste Stufe und der Sicherheits-Integritätslevel 1 die niedrigste ist (IEC 62061/EN 62061)	→ 3-96
SILCL	**SIL claim limit**	SIL-Anspruchsgrenze (für ein Teilsystem): maximaler SIL, der für ein → SRECS-Teilsystem in Bezug auf strukturelle Einschränkungen und systematische Sicherheitsintegrität beansprucht werden kann (IEC 62061/EN 62061)	→ 3-85 → 3-97 → 3-99
SRECS	**Safety-related electrical control system**	Elektrisches Steuerungssystem einer Maschine, dessen Ausfall zu einer unmittelbaren Erhöhung des Risikos bzw. der Risiken führt	
SRP/CS	**Safety-related part(s) of control system**	Sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung: Teil einer Steuerung, das auf sicherheitsbezogene Eingangssignale reagiert und sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt (ISO 13849-1/EN ISO 13849-1)	→ 3-85
T			
T_{10d}		Begrenzung der Betriebszeit des Bauteils. Mittlere Zeit, bis es bei 10 % der Komponenten zu einem Gefahr bringenden Ausfall gekommen ist. $T_{10d} = \frac{B_{10d}}{n_{op}}$ Die ermittelte MTTFd von verschleißbehafteten Bauteilen gilt nur für diese Zeit.	
V			
VBPD	**Visual based protection device**	Auf Bildauswertung basierende Schutzeinrichtungen, z. B. sichere Kamerasysteme	
Verriegelung		Eine Verriegelungseinrichtung ist eine mechanische, elektrische oder andere Einrichtung, deren Zweck es ist, den Betrieb eines Maschinenelements unter bestimmten Bedingungen zu verhindern.	→ 3-21 ff

Abkürzung/Begriff	Erklärung	Index
W		
Wiederanlauf	Wiederingangsetzen der Maschine. Nach dem Auslösen der Schutzfunktion oder nach einem Fehler kann das Rücksetzen der Schutzeinrichtung erfolgen, um den anschließenden Wiederanlauf der Maschine zu ermöglichen.	→ 3-4 f → 3-55 → 3-75
Wiederanlaufsperre	Eine Einrichtung zur Verhinderung eines automatischen Wiederanlaufs einer Maschine nach Auslösen der Sicherheitsfunktion während eines Gefahr bringenden Teils des Maschinenzyklus oder nach einer Änderung der Betriebsart oder der Betätigungsart der Maschine oder nach einem Wechsel in der Startsteuerungseinrichtung der Maschine (IEC 61496-1/EN 61496-1). • Betriebsarten schließen ein: Tippen, Einzelhub, Automatik • Startsteuereinrichtungen schließen ein: Fußschaltung, Zweihandschaltung, Eintakt- oder Zweitaktauslösung durch die Sensorfunktion der BWS • Wiederanlaufsperre (RES): Bei Unterbrechung mindestens eines Lichtstrahls stoppt die Maschine und die Wiederanlaufsperre (RES) setzt ein. Sie sorgt dafür, dass die Maschine erst wieder starten kann, wenn der Lichtweg frei ist und die Rücksetztaste gedrückt und wieder losgelassen wird.	
Z		
Zwangsöffnung	Eine Zwangsöffnung bei Schaltern bedeutet, dass zwischen Betätiger und Schaltelement eine formschlüssige Kraftübertragung erfolgen muss. Der Betätigungsmechanismus muss so aufgebaut sein, dass auch bei mechanischem Versagen, z. B. beim Bruch einer Feder oder Kontaktverschweißung, die Kontaktstelle zuverlässig öffnet und im betätigten Zustand geöffnet bleibt (IEC 60947-5-1/EN 60947-5-1).	→ 3-24

Co-Autoren und Danksagung

Die SICK AG und das Redaktionsteam bedanken sich herzlich bei allen Co-Autoren, die an diesem Leitfaden mitgewirkt haben, sei es durch Hinweise auf notwendige Korrekturen, Foto- oder Textbeiträge. Auch zahlreiche Leser der vorhergehenden Ausgabe dieses Leitfadens haben durch ihre hohe Sachkenntnis und die Rückmeldungen aus der Praxis zum Gelingen dieser Aktualisierung beigetragen. Danke für diese Unterstützung!

Insbesondere danken wir
(Nennung in alphabethischer Reihenfolge):

- Dr. Tilmann Bork, Festo AG & Co. KG
- Pablo Ruiz, Festo AG & Co. KG
- SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG

8008007/2015-07-07 · 2M/MK · Pre USmod de44

SICK AUF EINEN BLICK

SICK ist einer der führenden Hersteller von intelligenten Sensoren und Sensorlösungen für industrielle Anwendungen. Mit nahezu 7.000 Mitarbeitern und mehr als 50 Tochtergesellschaften und Beteiligungen sowie zahlreichen Vertretungen weltweit sind wir immer in der Nähe unserer Kunden. Ein einzigartiges Produkt- und Dienstleistungsspektrum schafft die perfekte Basis für sicheres und effizientes Steuern von Prozessen, für den Schutz von Menschen vor Unfällen und für die Vermeidung von Umweltschäden.

Wir verfügen über umfassende Erfahrung in vielfältigen Branchen und kennen ihre Prozesse und Anforderungen. So können wir mit intelligenten Sensoren genau das liefern, was unsere Kunden brauchen. In Applikationszentren in Europa, Asien und Nordamerika werden Systemlösungen kundenspezifisch getestet und optimiert. Das alles macht uns zu einem zuverlässigen Lieferanten und Entwicklungspartner.

Umfassende Dienstleistungen runden unser Angebot ab: SICK LifeTime Services unterstützen während des gesamten Maschinenlebenszyklus und sorgen für Sicherheit und Produktivität.

Das ist für uns „Sensor Intelligence."

Weltweit in Ihrer Nähe:

Australien, Belgien, Brasilien, Chile, China, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Indien, Israel, Italien, Japan, Kanada, Malaysia, Mexiko, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Rumänien, Russland, Schweden, Schweiz, Singapur, Slowakei, Slowenien, Spanien, Südafrika, Südkorea, Taiwan, Thailand, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, USA, Vereinigte Arabische Emirate, Vietnam.

Ansprechpartner und weitere Standorte → www.sick.com

SICK
Sensor Intelligence.